保物セミナー2020

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[1)]、緒方良至[2)]、掛布智久[3)]、秋吉優史[4)]

名古屋大学・工[1)]、名古屋大学・ア総合セ[2)]、
日本科学技術振興財団[3)]、大阪府立大学・工[4)]

「漏洩X線量スクリーニング手法」とは？

　クルックス管の周辺の漏洩X線の線量率を測定すること、漏洩X線が出ていれば、実質的に出ないようにクルックス管の印加電圧を下げるなどの手段を講じること、あるいは被ばく線量が免除レベル以下であるような措置を講じること、である。

クルックス管からの漏洩X線の線量率がどの程度なのかを、中学校や高等学校の先生方が自身で確かめることができる二つの方法を提案する。

[1] 箔検電器による方法

箔検電器はほとんどの学校が所有している。

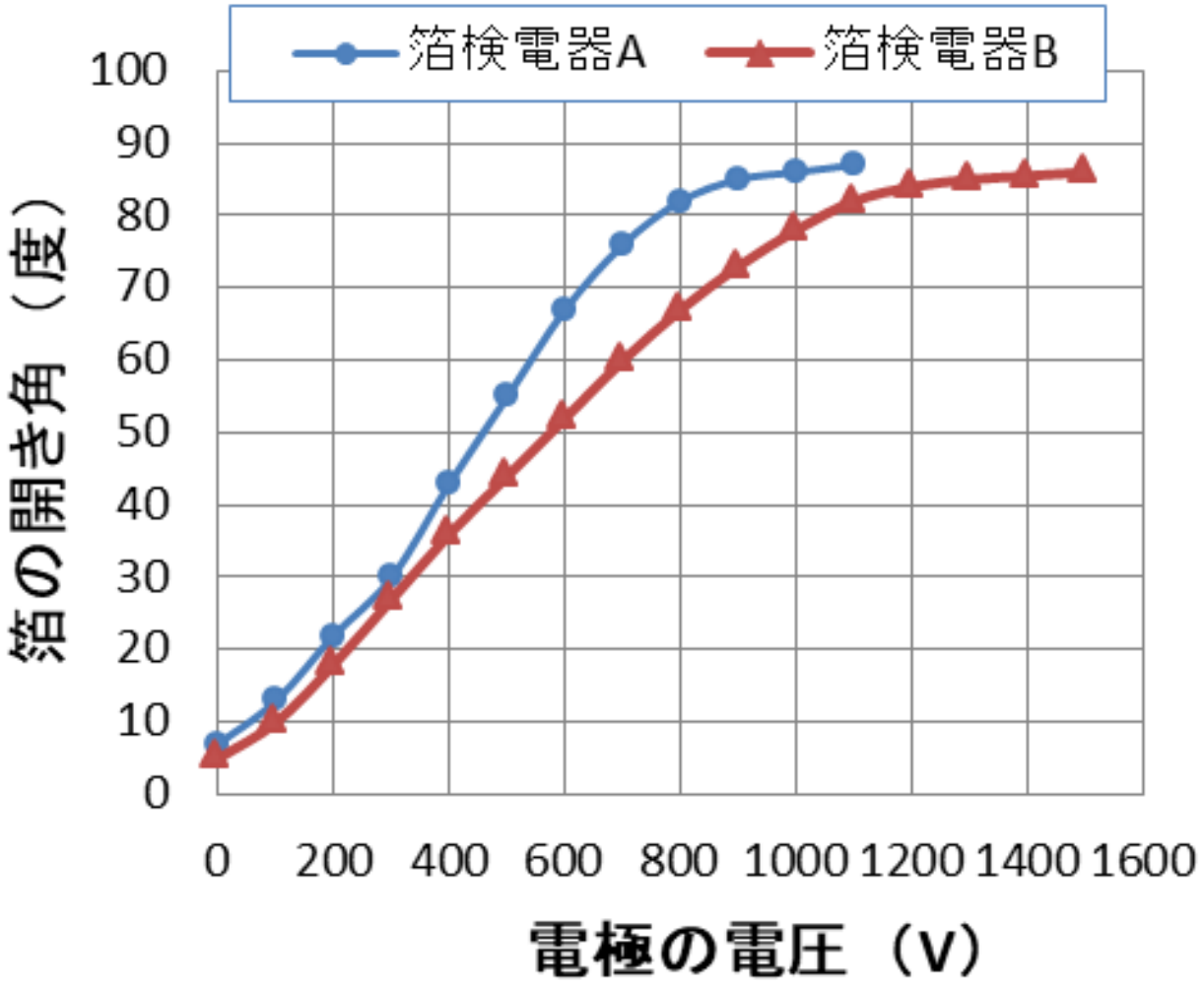
[2] 簡易放射線測定器KIND-miniによる方法

KIND-miniは無料で借りられる。

[1]　箔検電器で測る方法

以下のような型の市販の箔検電器なら
手作り品を除いてどれでも使用できる。

箔検電器の箔の開き角と電極の電圧

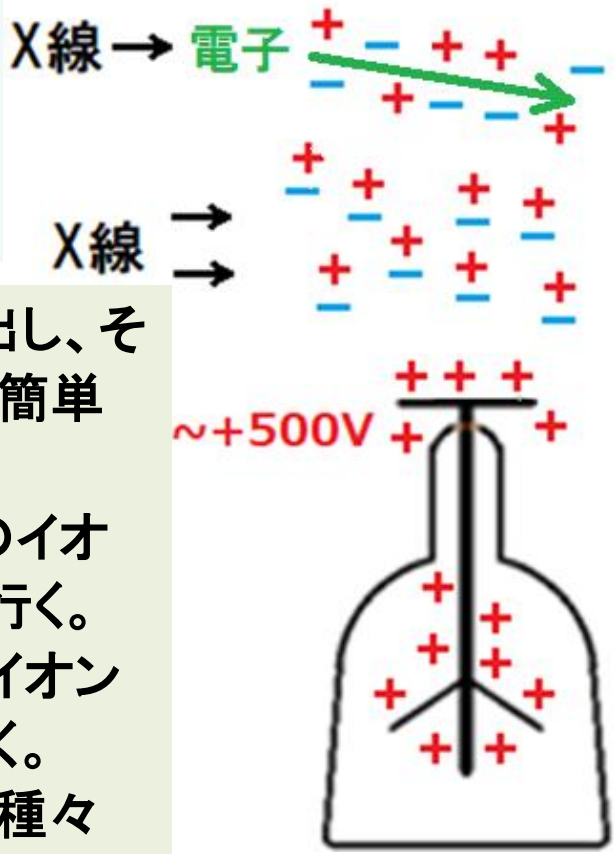


箔の開き角が例えば60度の場合には、電極の電圧は～500V以上になっている。

この電圧がX線によって空気中に発生したイオンを集めて箔が閉じる。

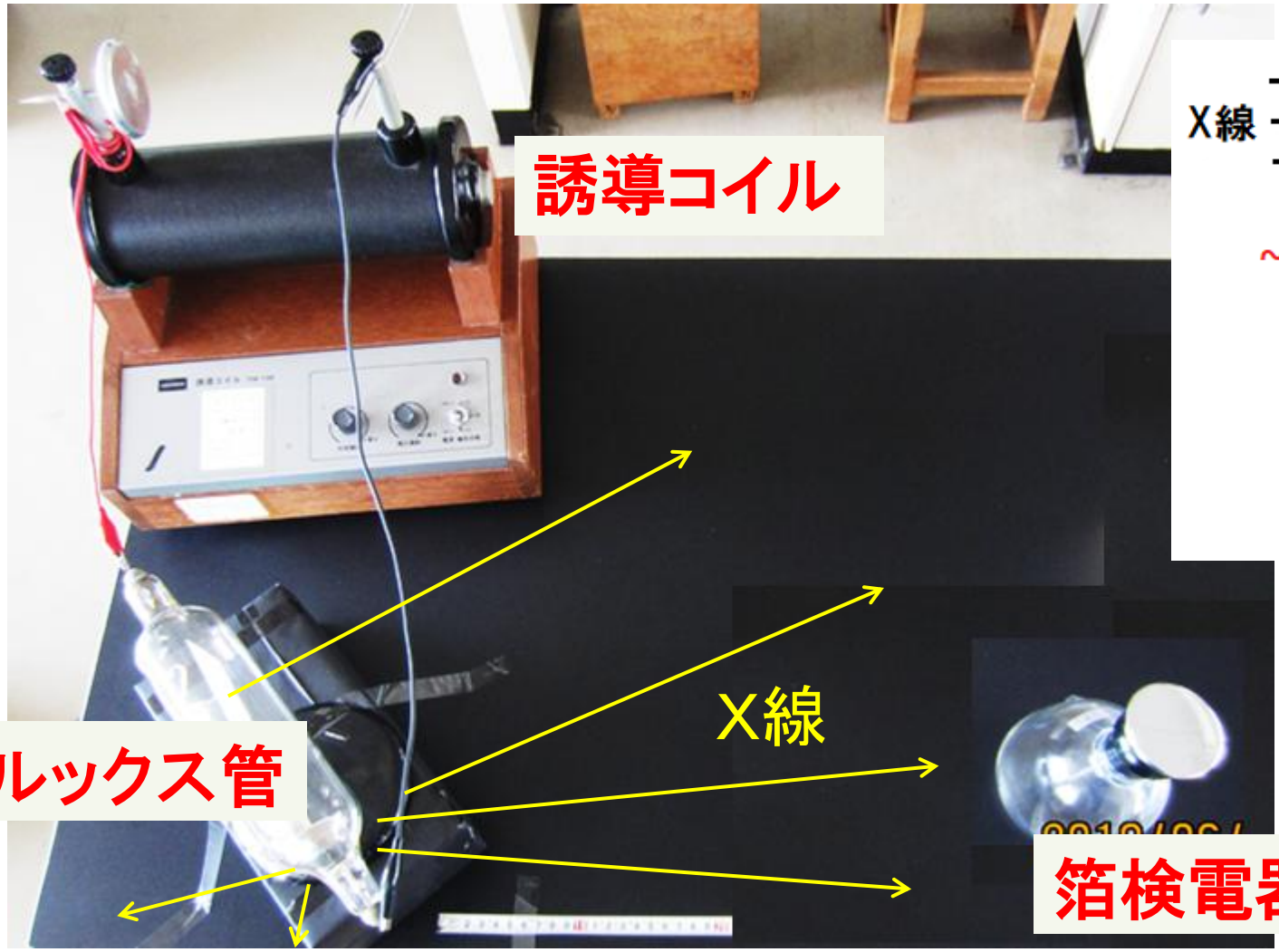
箔検電器の箔が閉じる時間を測定して、検量線からX線の線量率を求める。

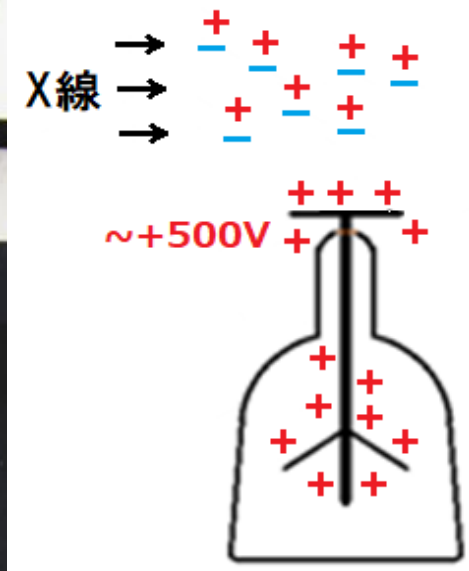
X線の線量率が高い場合には、空気中のイオンの密度が高く、箔は速く閉じる。
即ち、箔が閉じる時間を計ればX線の線量率が分かる。



右の最上部に示すように、X線は空気中で電子を放出し、その電子がイオン対を作るのであるが、その下の図では簡単のためX線がイオン対を直接作るように描いてある。
箔検電器に正の電荷が荷電されていれば、空気中のイオン対のうちの負のイオンが引き付けられて箔が閉じて行く。
箔検電器に負の電荷が荷電されていれば、空気中のイオン対のうちの正のイオンが引き付けられて箔が閉じて行く。
箔検電器の電荷の正負によって、箔が閉じる時間が種々の理由により、若干異なることがあるので、両方の場合の時間を測定し、幾何平均値を求める。

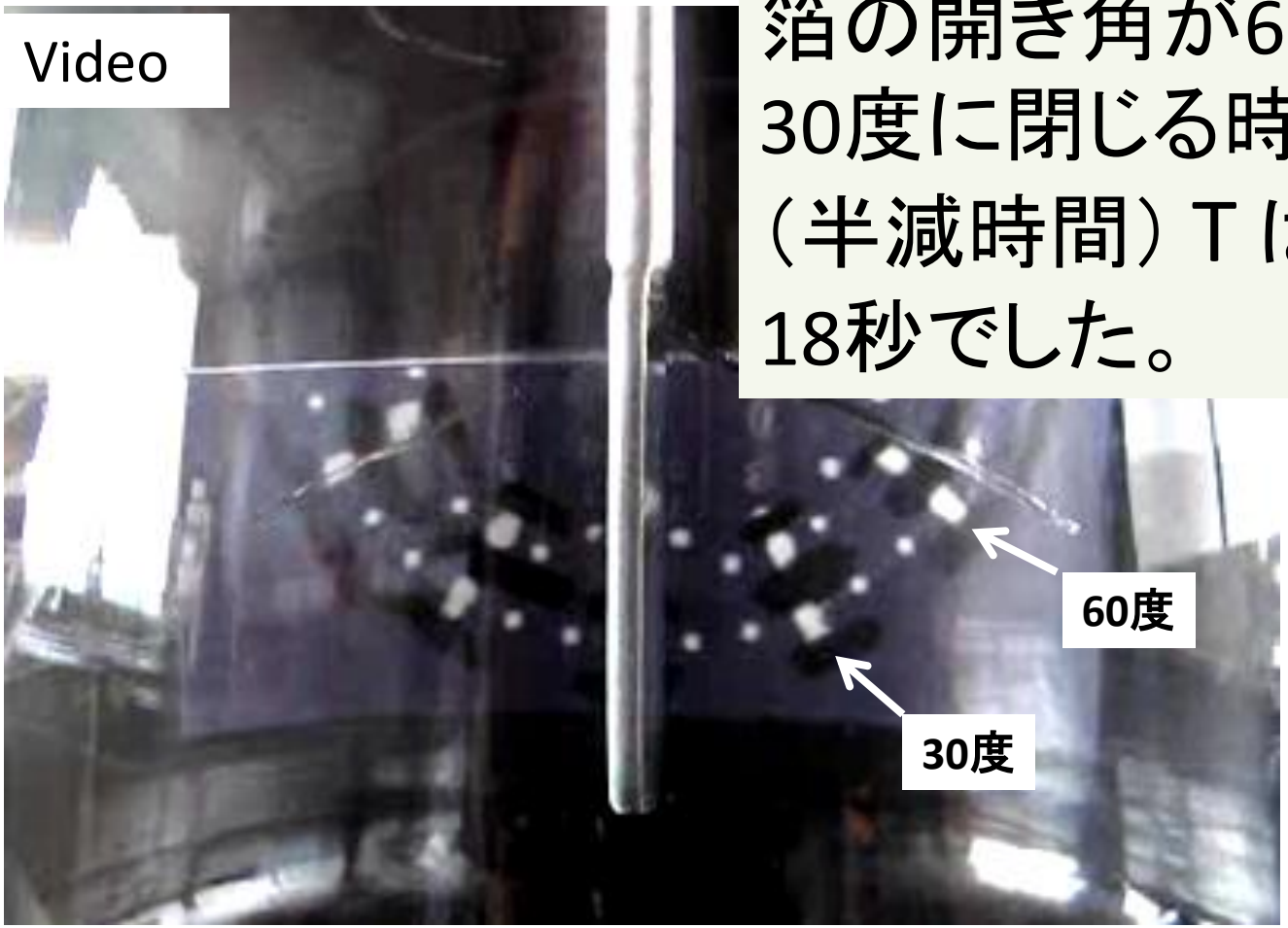
箔検電器に荷電してクルックス管から一定の距離に置き、箔が閉じる時間を測る





箔が閉じる様子をビデオで見てみよう！

（ビデオの見方は後述のリンクを参照）



箔の開き角が60度から30度に閉じる時間（半減時間）T は18秒でした。

測定を始める前に
少し注意しなければならないことがある。

①箔検電器の使い方

②実験の際の周囲の状況

(a)周りにガスコンロなどイオンを発生するものがない

(b)風がない（窓を閉じる、換気扇のそばを避ける）

(c)誘導コイルからコロナ放電が起きていない

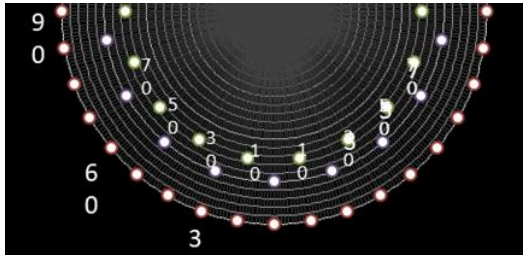
(d)箔検電器に正の電荷を荷電した場合と負の電荷を荷電した場合の両方の半減時間(T_+とT_-)を測定して幾何平均値を採る　$T=(T_+ \times T_-)^{0.5}$

①箔検電器の使い方

市販のほぼ同型のものならばOK

絶縁部分を掃除する

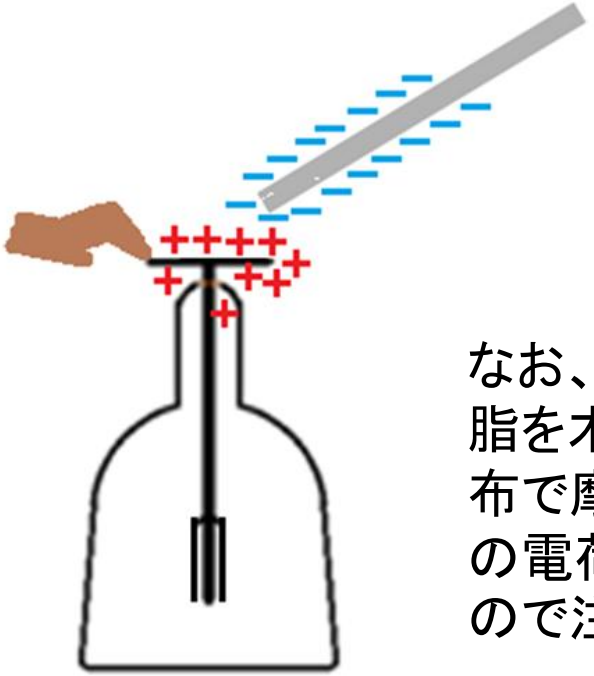
目盛紙を貼り付ける（なくてもよい）



箔検電器の電極への正負の荷電の仕方

正電荷の荷電

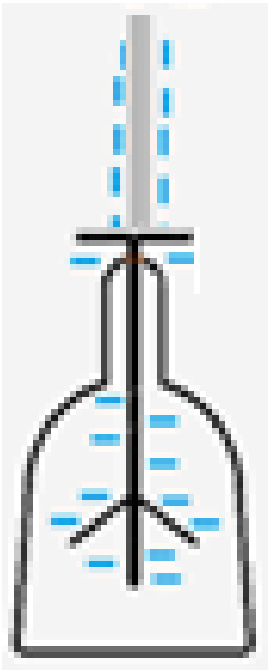
木綿や毛の布で塩化ビニールのパイプを摩擦し、電極に近付け、手を電極に触れる。手を離したあとで、塩ビのパイプを遠ざける。

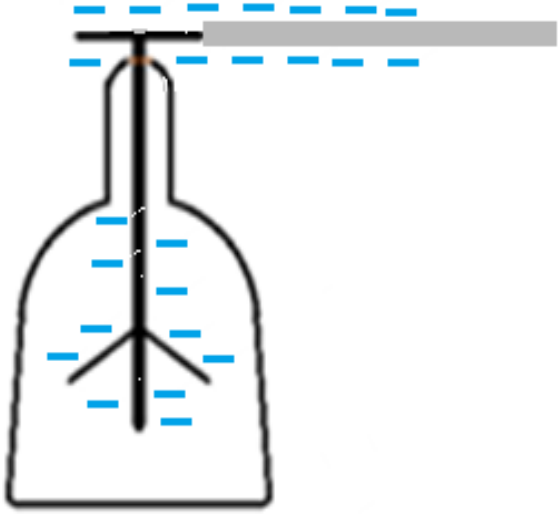


なお、アクリル樹脂を木綿や毛の布で摩擦すると正の電荷が帯電するので注意を要する。

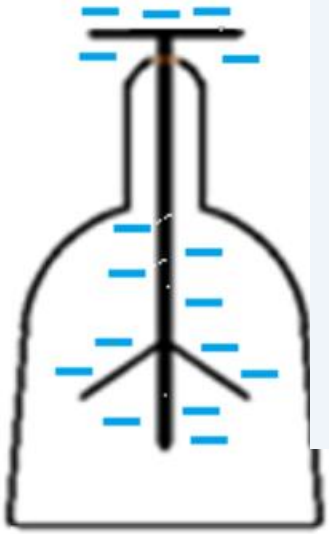
負電荷の荷電

木綿や毛の布で塩化ビニールのパイプを摩擦し、その先端を電極に接触させ、上に引き上げる、または横に離す。

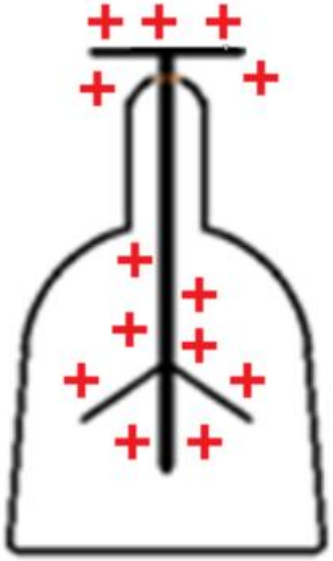




箔検電器の電荷の正負を、負に荷電した塩ビのパイプで判定する方法



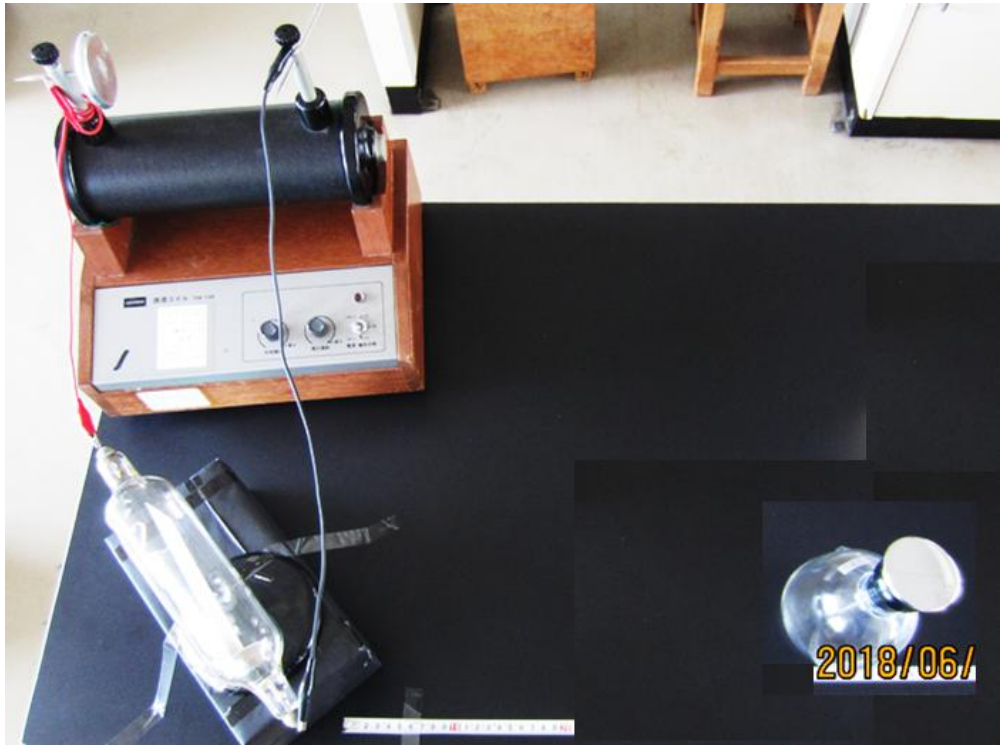
摩擦した塩ビパイプを近付けると箔の開き角は大きくなる（同種の電荷の時）

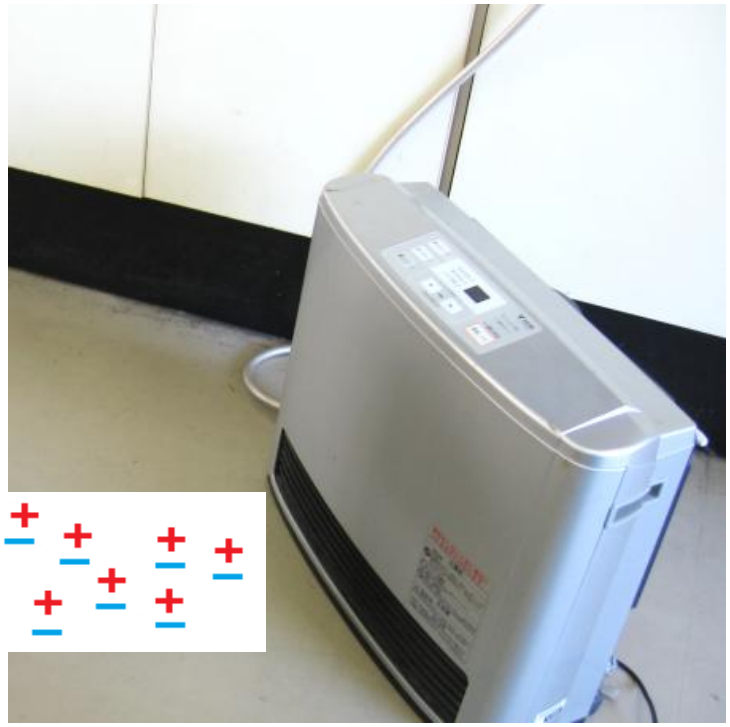


摩擦した塩ビパイプを近付けると箔の開き角は小さくなる（異種の電荷の時）

②実験の際の周囲の状況

(a)周りにガスストーブやバーナーなどの炎がないことを確認する。
炎は多量のイオンを発生している。



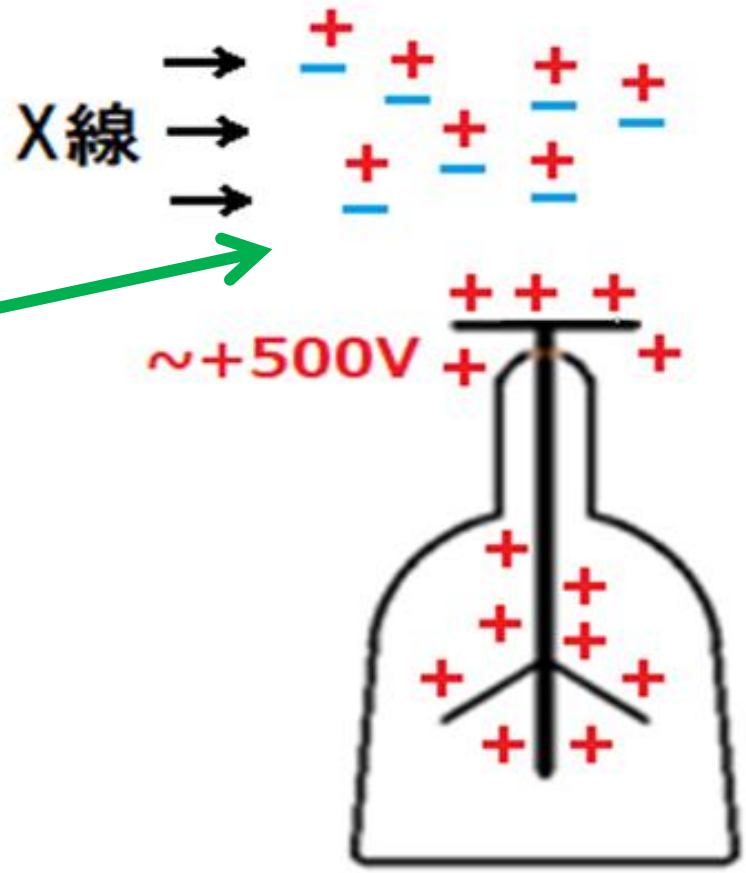


（b）風がないようにする。

1)窓を閉める。

2)エアコンの排気口の近くを避ける。

風があると、X線が空気中に作るイオンを吹き飛ばしてしまう。

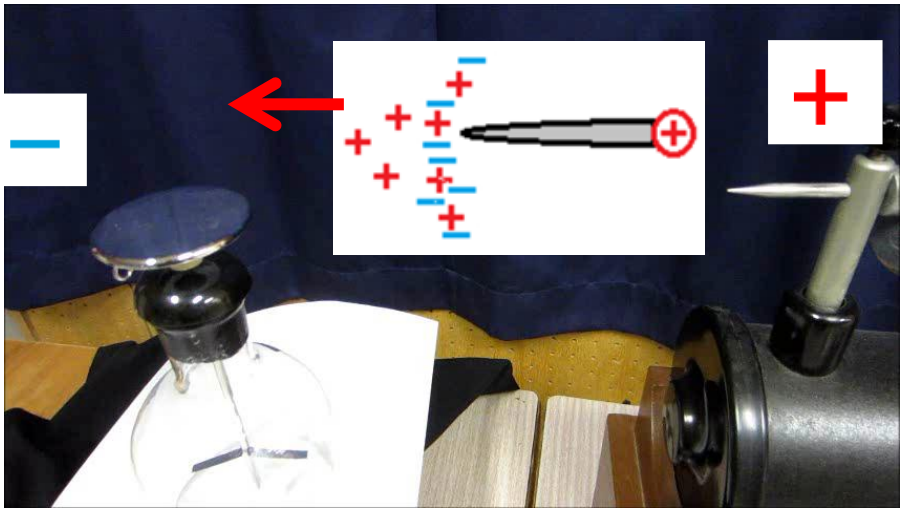


（c）コロナ放電が起きていないことを確認する

X線を測定したいのに、コロナ放電で箔が閉じては困る

①箔検電器に負の電荷を荷電し、誘導コイルの電圧や電流の設定つまみは通常の使用状態にしておき、クルックス管をつながないで針電極に正の電圧を印加した時に、箔が閉じればコロナ放電が発生している。（針電極の先端があまり鋭くない場合には箔が閉じないことがある。コロナ放電が起きていない。もし、針電極の先に縫い針などを付けると箔が閉じることが分かる。ここで言うコロナ放電は主に目には全く見えない放電を指している。

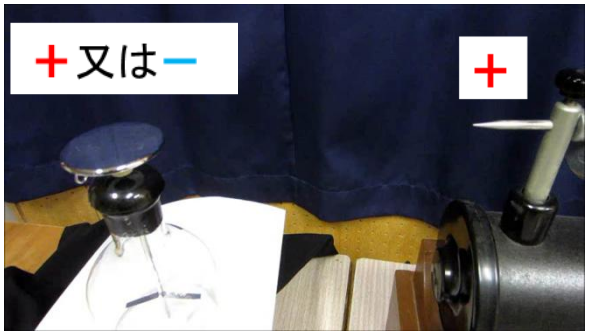
②針電極を取除いて、電極支持棒に正の電圧を印加した時に、箔が閉じないことを確認する。（コロナ放電が起きていないことを確認する）



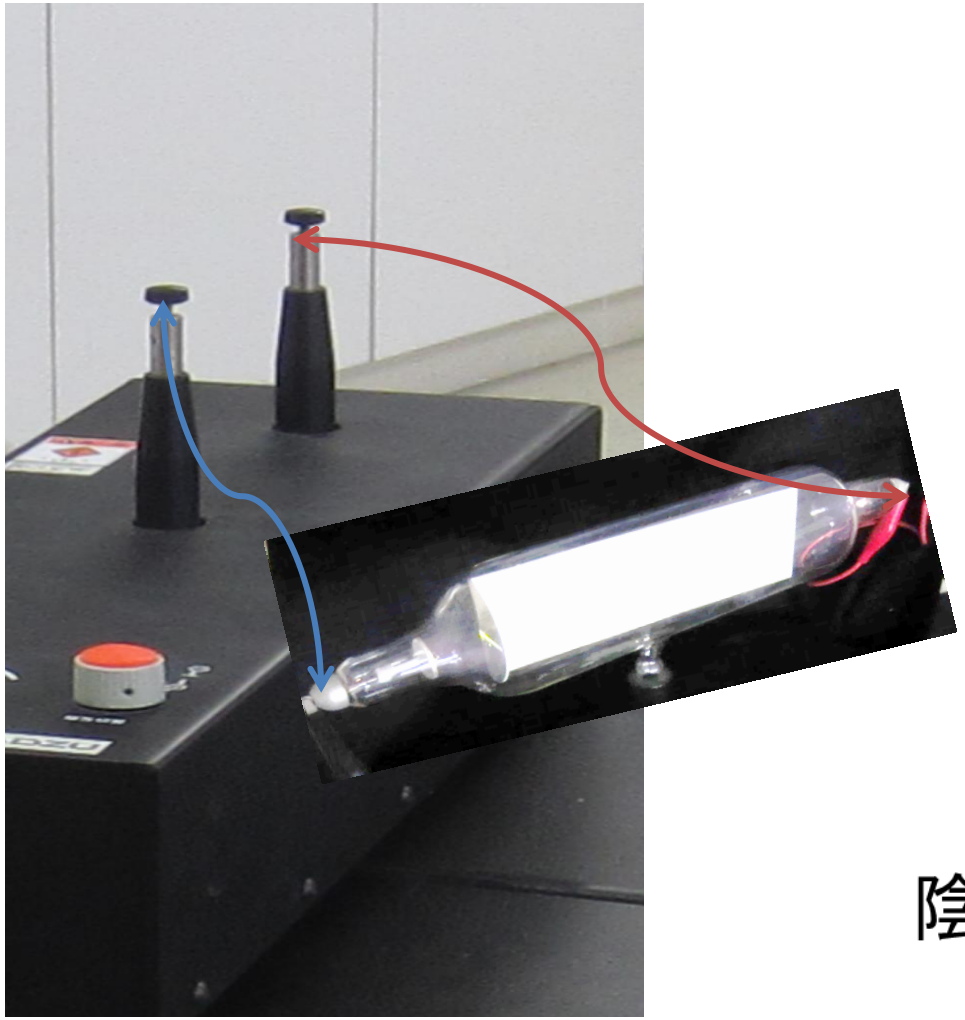
コロナ放電の実験そのものは簡単にできるので是非実験してみて下さい。

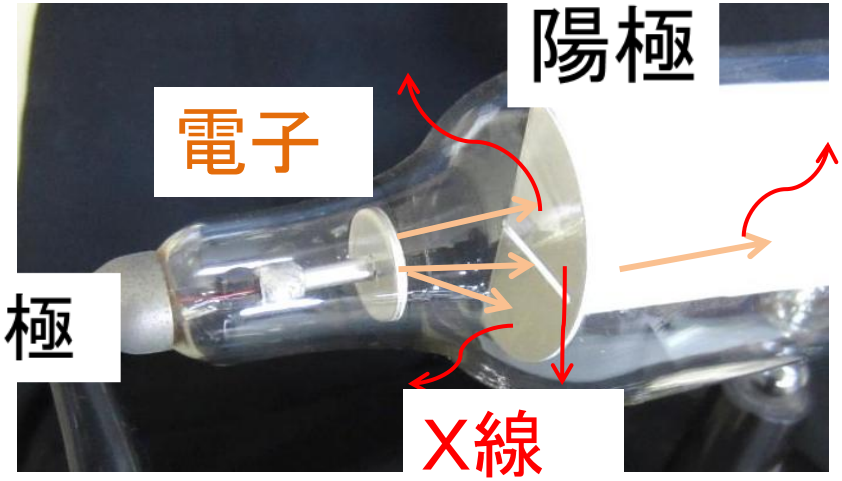
箔が閉じるかどうかは、針電極の電位の正負と箔検電器の電荷の正負によって異なる。

針電極の電位	箔検電器の電荷	イオンの移動	箔の開閉
正	負	正イオン	閉じる
正	正	なし	閉じない
負	負	なし	閉じない
負	正	負イオン	閉じる

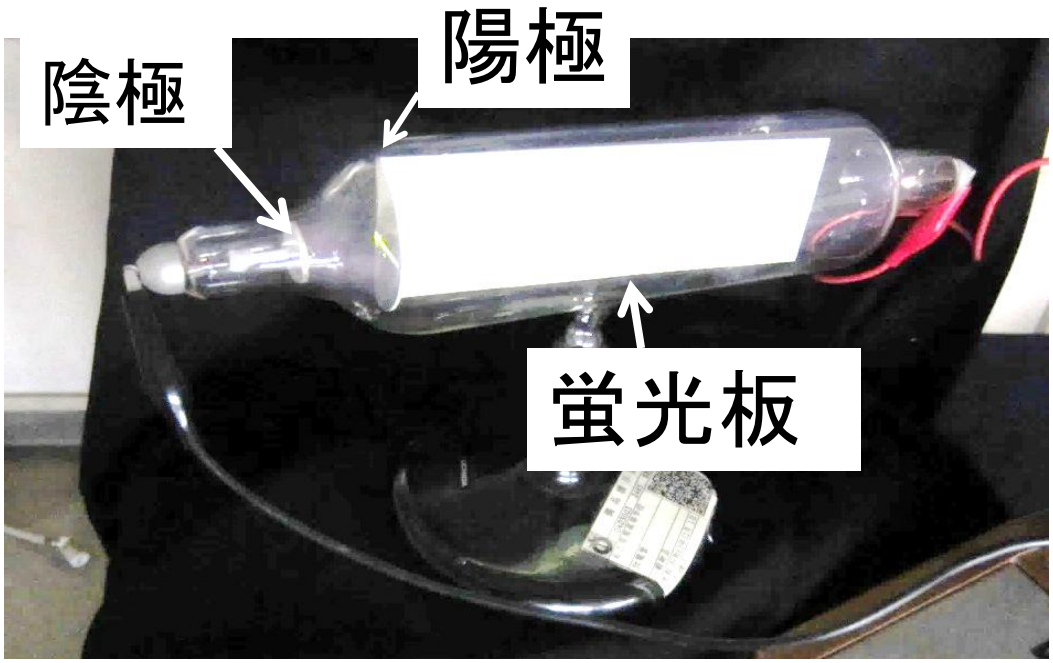


コロナ放電が起きないように尖った針電極を取り外し、支持棒電極とクルックス管を接続する

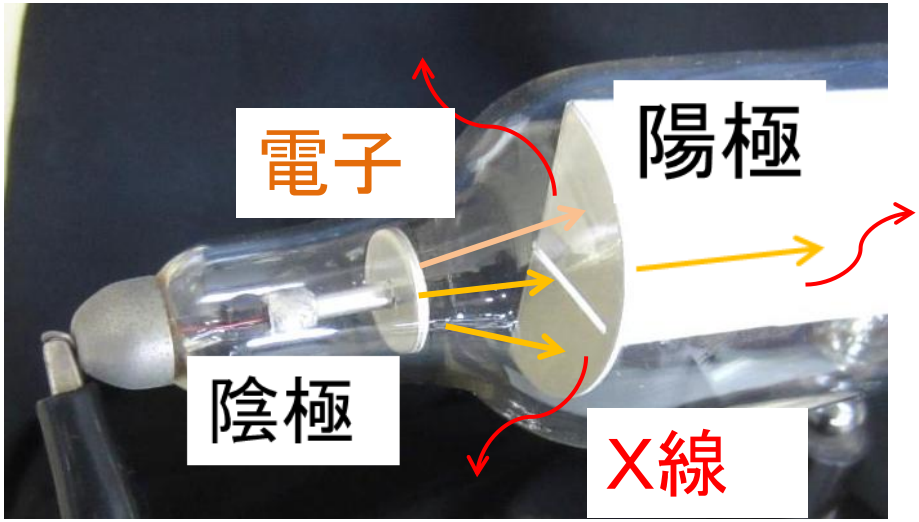




クルックス管からのX線の発生

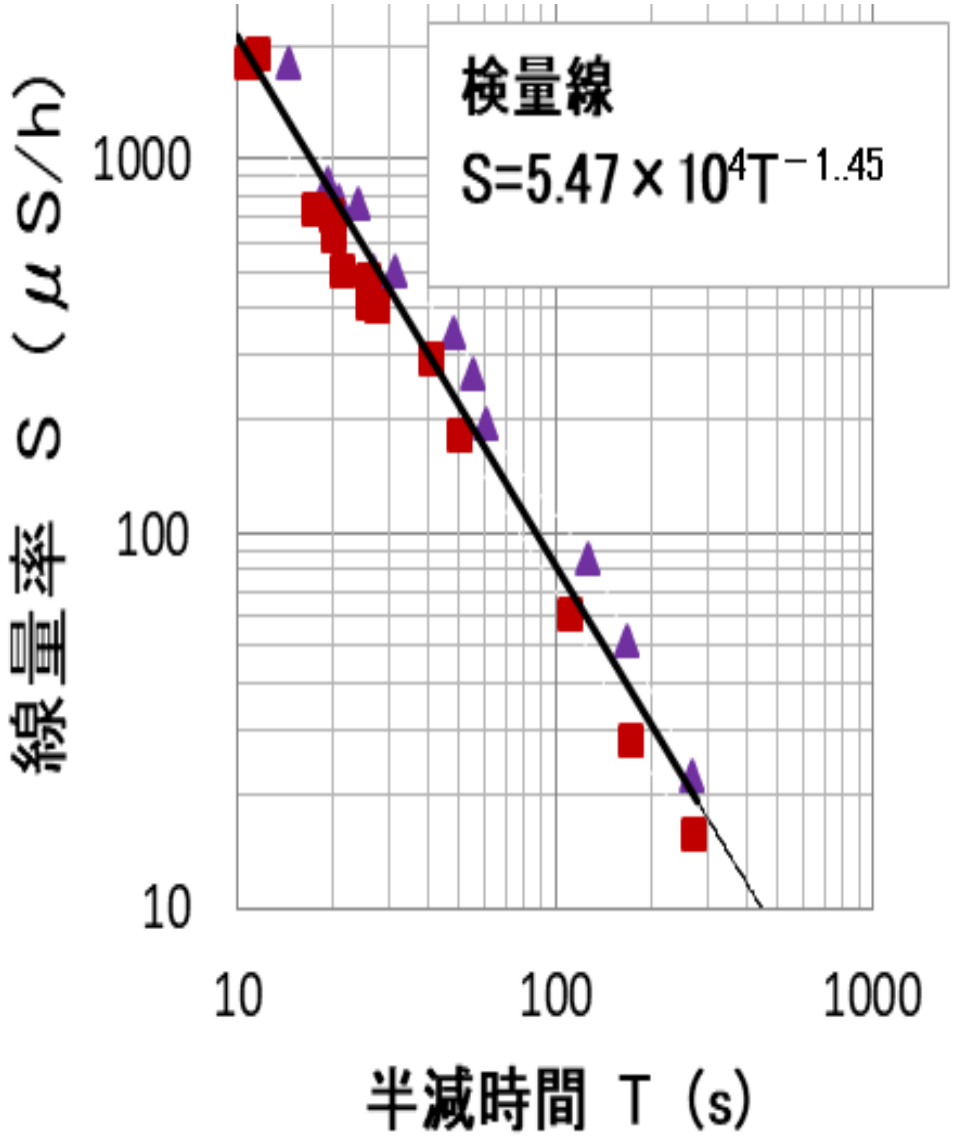


電子が陽極などに当たってX線が発生する。

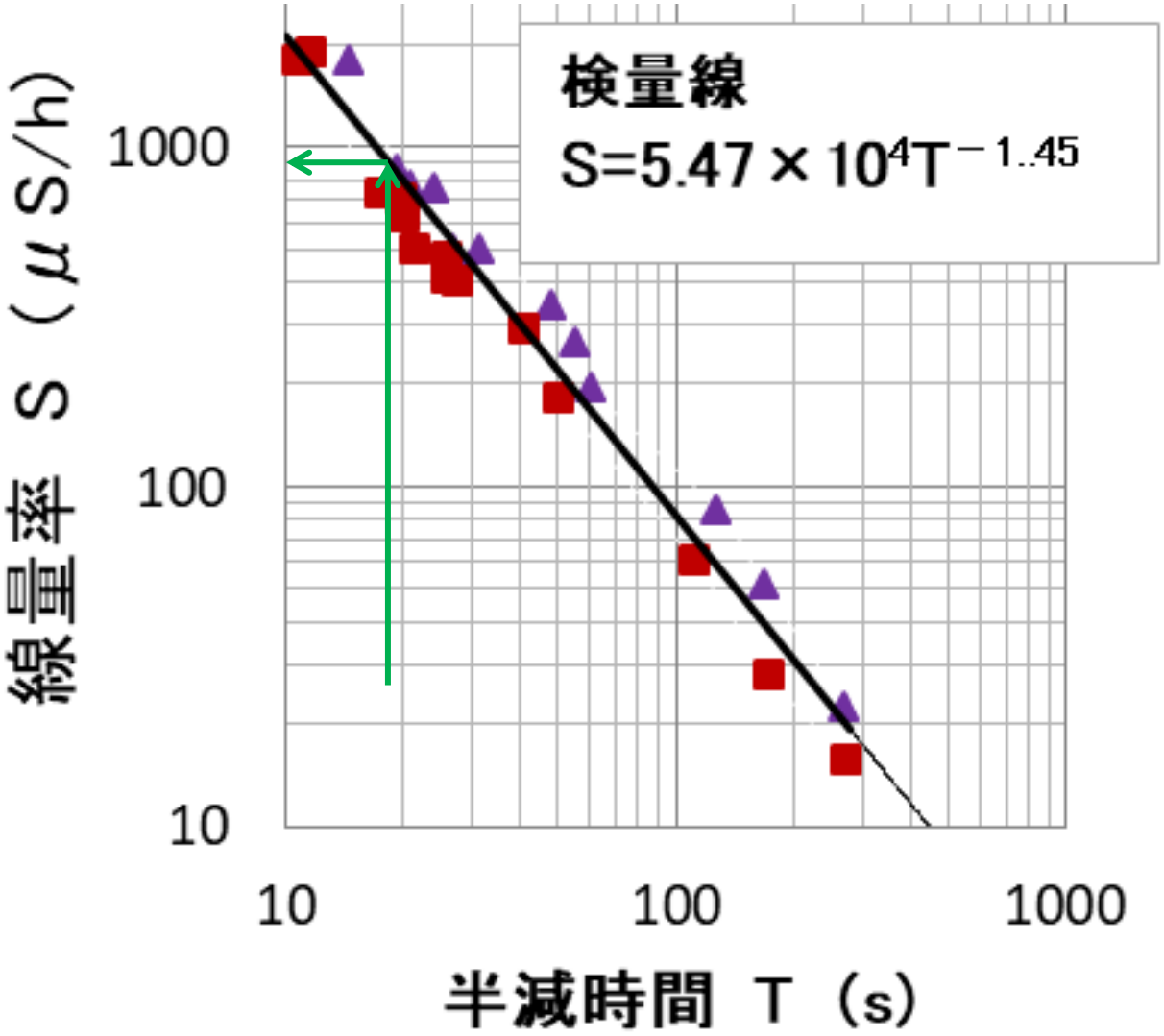


十字型の場合には、十字の板やその後のガラス面でX線が発生している

箔検電器に
　正の電荷を荷電した場合の半減時間（箔の開き角が60度から30度になる時間）T_+と
負の電荷を荷電した場合の半減時間T_-の
幾何平均値Tを求める。
　$T=(T_+ \times T_-)^{0.5}$
右図の検量線から線量率を求める。
検量線は電離箱で校正している。



半減時間Tが得られれば、検量線を使ってX線の線量率が直ちにわかる！



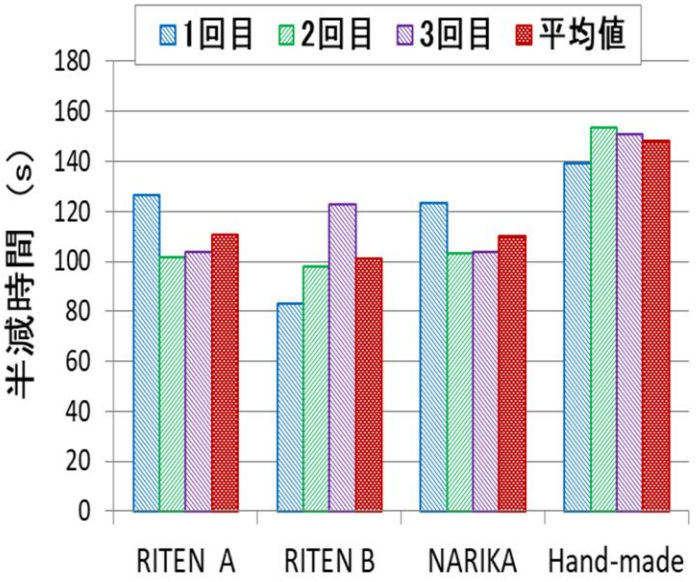
この検量線の線量率は電離箱で測定した値で70μ m線量当量率を示す。

箔が閉じる時間が**18秒**の場合には、検量線から70μm線量当量率は**880μSv/h**であることが分かる。

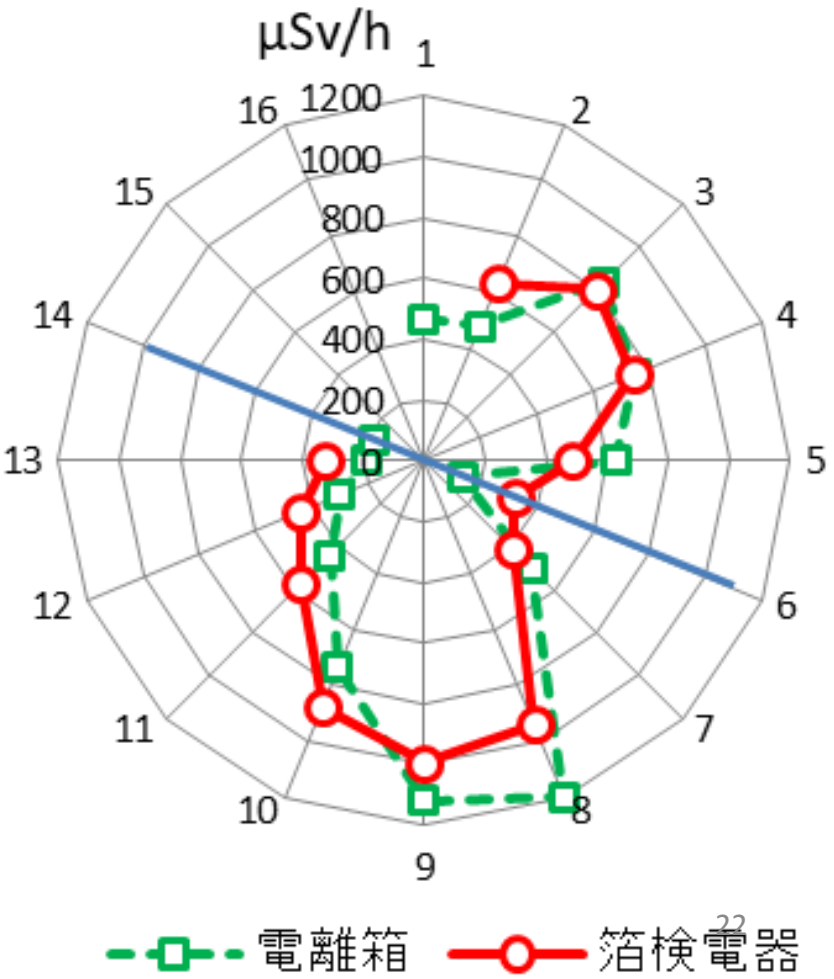
箔検電器によるX線の線量率測定の誤差

導線の配置や測定ごとによる誤差
約11%
メーカー別や測定ごとによる誤差
約13%
測定の不慣れさによる誤差
約20%

全誤差=$(11^2+13^2+20^2)^{0.5}$ = ±26% 約±30%



箔検電器によるクルックス管の周囲の線量率測定値と電離箱による測定値との比較をした。かなり良く一致している。



箔検電器を使用する場合の結論

○中学校や高等学校の理科実験で使用されるクルックス管などからはX線が発生していることが多い。これはレントゲンがX線を発見した現象である。

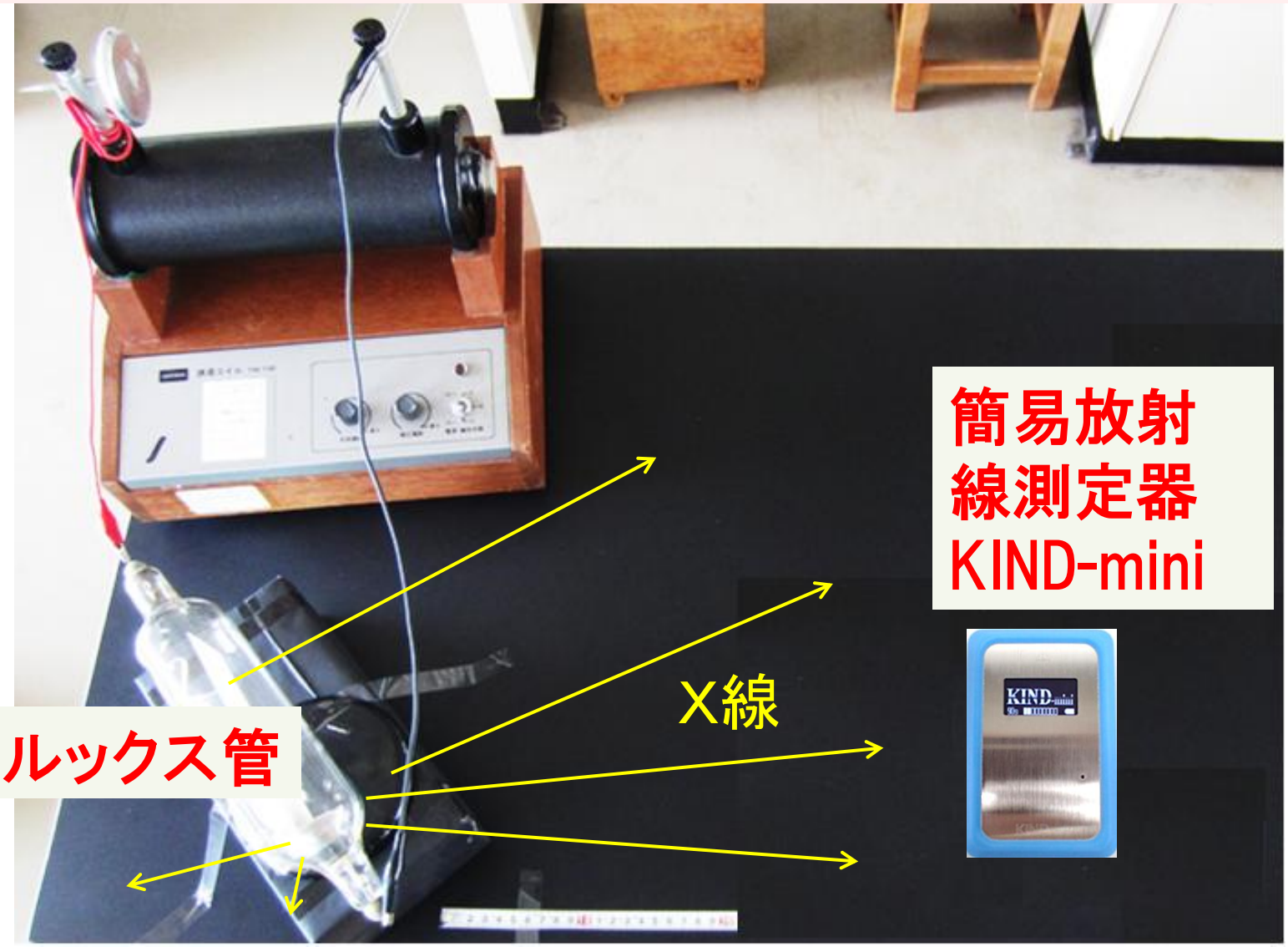
○ほとんどの学校が保有している市販の箔検電器を使い、筆者らが提供する検量線を用いて、学校の先生方自身でX線の線量率をその場で測定できる。

○箔検電器の使用に際しては若干の注意が必要。

○測定範囲は70μm線量当量率で 10μSv/h～2mSv/hであり、測定誤差は約±30%である。

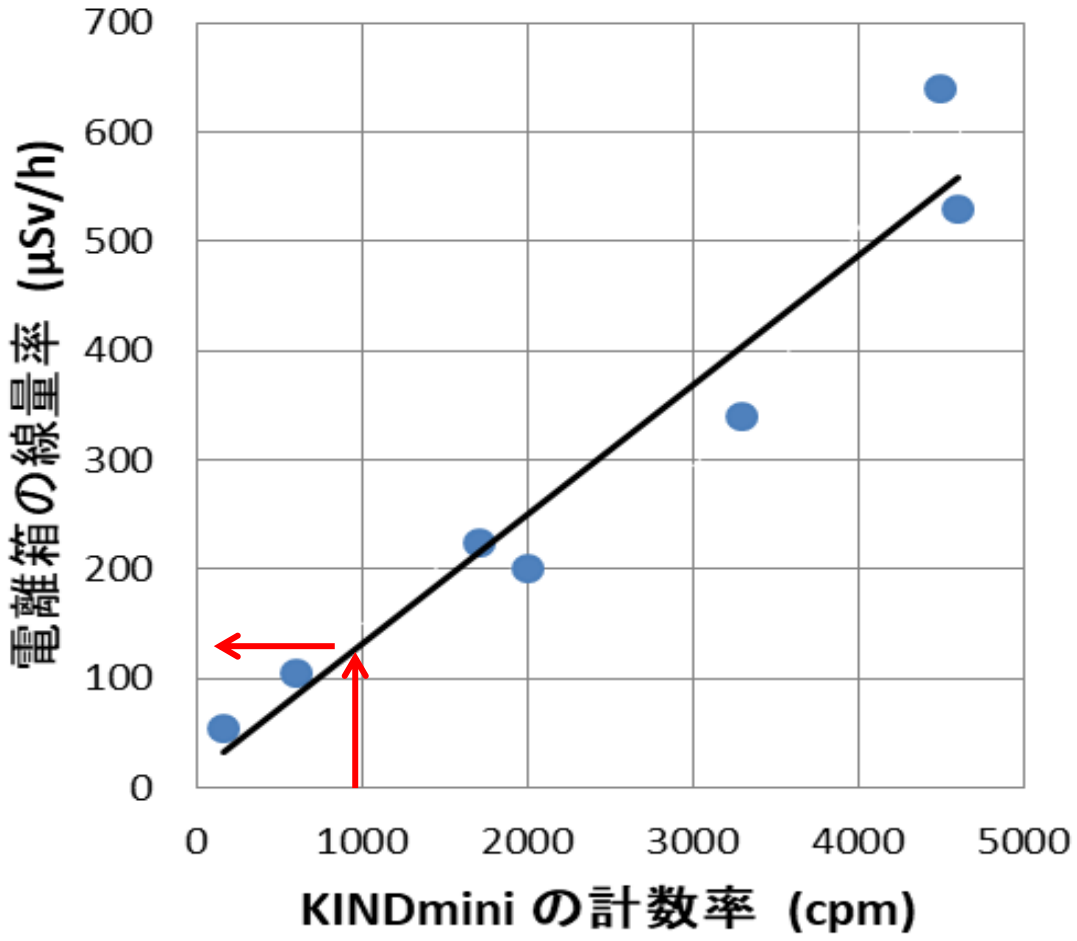
○クルックス管による電子線の実験のついでに、すぐにできるコロナ放電の実験を勧めたい。

[2] KIND-mini (簡易放射線測定器)を使う方法
KIND-mini は送料・借用料無料で借用できる



KIND-mini の計数率を読取り、下図の検量線から線量率を求める

今のところ5000cpm以下（70μm線量当量率600μSv/h以下）で使用できる



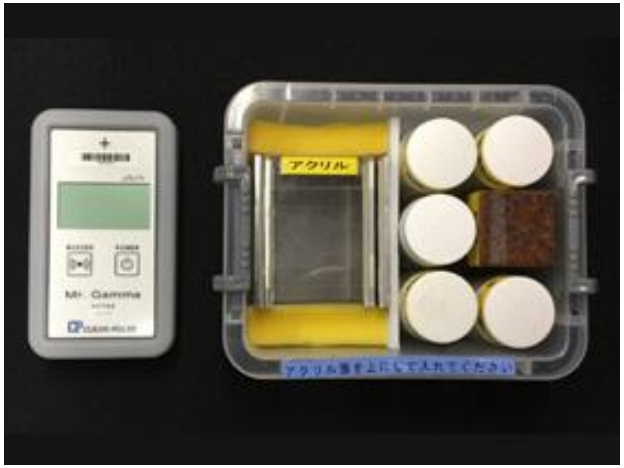
日本科学技術振興財団が放射線実験に関して貸出できる実験機材

（送料・借用料無料）

教育用放射線測定器
“KIND-mini”
10台まで

測定試料セット

10セットまで



特性（自然放射線測定、距離、遮へい）実験セット

10セットまで

簡易放射線測定器申込書

(公財) 日本科学技術振興財団　行

簡易放射線測定器 申込書

申込日	年　　月　　日（　　曜日）
ふりがな 学校・団体名	
ふりがな 申込者名	<役職名>　　<お名前>
学校・団体住所	〒 E-mail： <電話番号（携帯不可）>　　<FAX番号>

簡易放射線測定器KIND-mini を使用する場合の結論

○KIND-mini は日本科学技術振興財団から無料で容易に借用できる。

○X線の線量率を測定したい場所に KIND-mini を置いて表示を読み取る。

○計数率が5千cpm以下の場合に、検量線を使ってX線の線量率が得られる。

○5千cpm以上の場合には、クルックス管にかける電圧を下げるとか、KIND-mini をより遠くに置いて測定する。

クルックス管による電子線観測の授業実験に対する措置

箔検電器や簡易放射線測定器KIND-miniの測定可能な下限は70μm線量当量率で約10μSv/hであるが、クルックス管から例えば50cmの位置において、この下限以上のX線が出ていなければ問題はない。

下限以上のX線が検出された場合には、クルックス管に印加する電圧を下げるとか、電流を下げるとかの措置を講じてX線が検出されないようにするのが望ましい。

もしも、X線を発生させて生徒にX線のデモ実験をしたい場合には、X線の被ばくはできるだけ免除レベル（実効線量10μSv/y）以下にする。例えば50cmの位置において70μm線量当量率が500μSv/hであったとすれば、1cm線量当量率への換算係数や、1cm線量当量率と実効線量率の比などから、実効線量率は約60μSv/hになる。従ってこの位置で先生が生徒に10分間の実験をして見せれば10μSv浴び、免除レベルになる。先生がクルックス管から1mの位置で実験すれば、X線の線量率は1/4に減少し、免除レベルよりもはるかに少なくなる。生徒は通常は1m以上の距離にいるので問題ない。なお免除レベルは、一般人に対する被ばく線量限度1mSv/yや自然放射線の被ばく線量約2.1mSv/yに比べて非常に少ない。

余談ですが、コロナ放電によって箔が閉じる様子を見せる実験も推奨します。

参考文献

1）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応用、放射線教育、Vol.23, No.1, 23-32(2019)

2）秋吉優史、他、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、No.106, 31-38(2018)

3）森 千鶴夫、緒方良至、秋吉優史、掛布智久、他、箔検電器によるクルックス管からのX線の線量率測定、RADIOISOTOPES, Vol.69, 1-12 (2020)

4）森 千鶴夫、緒方良至、秋吉優史、箔検電器によるクルックス管からのX線の線量率測定マニュアル、放射線教育、Vol.23, No.1, 33-39 (2019)

ビデオモードの閲覧について

2020保物セミナーの事務局の御努力で、本発表にリンクして、箔の動きやKIND-miniの表示をビデオモードを見ることができます。是非、ご覧になって下さい。※動画を見るときはVideoをクリックしてください。

(A)箔検電器の箔の動き

①X線によるイオンによって箔が閉じる様子（2頁）

(a)線量率が 0.88 mSv/hの時：　箔はゆっくり閉じる

(b)線量率が 7.5 mSv/hの時：　箔は速く閉じる

②コロナ放電のイオンによって箔が閉じる様子（4頁）

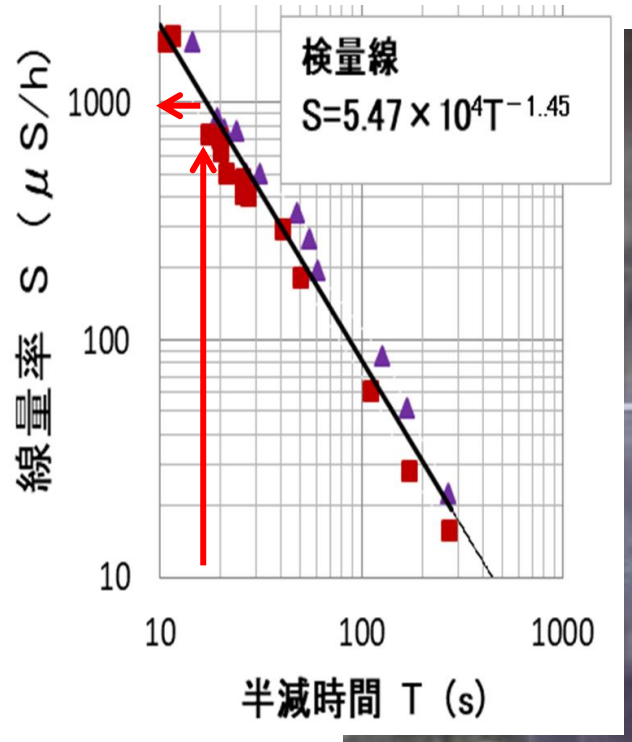
針電極の電位の正負と

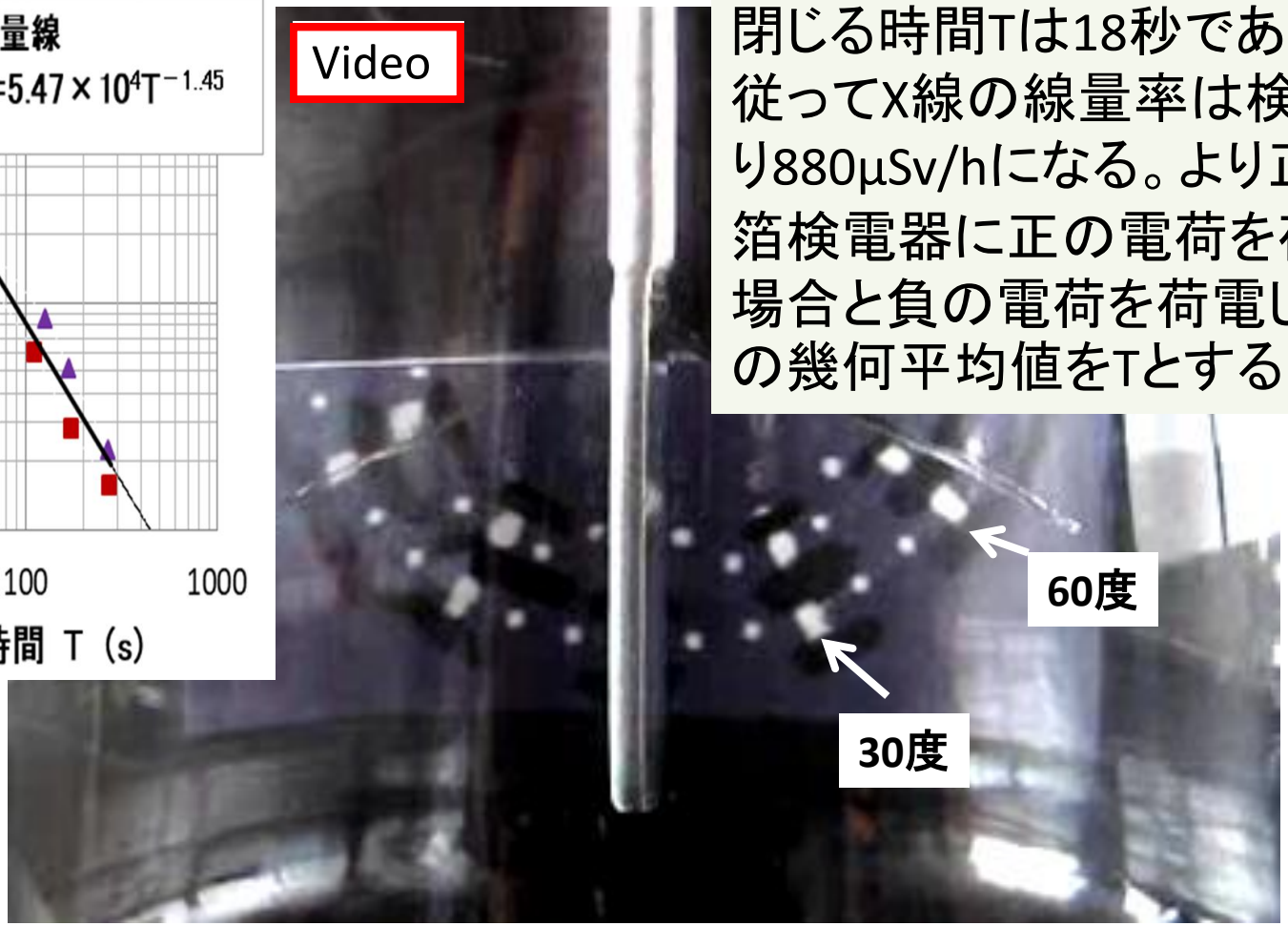
箔検電器の電荷の正負によって様子は異なる

③ローソクの炎のイオンによって箔が閉じる様子（1頁）

(B)簡易放射線測定器 KIND-mini による測定の様子（1頁）

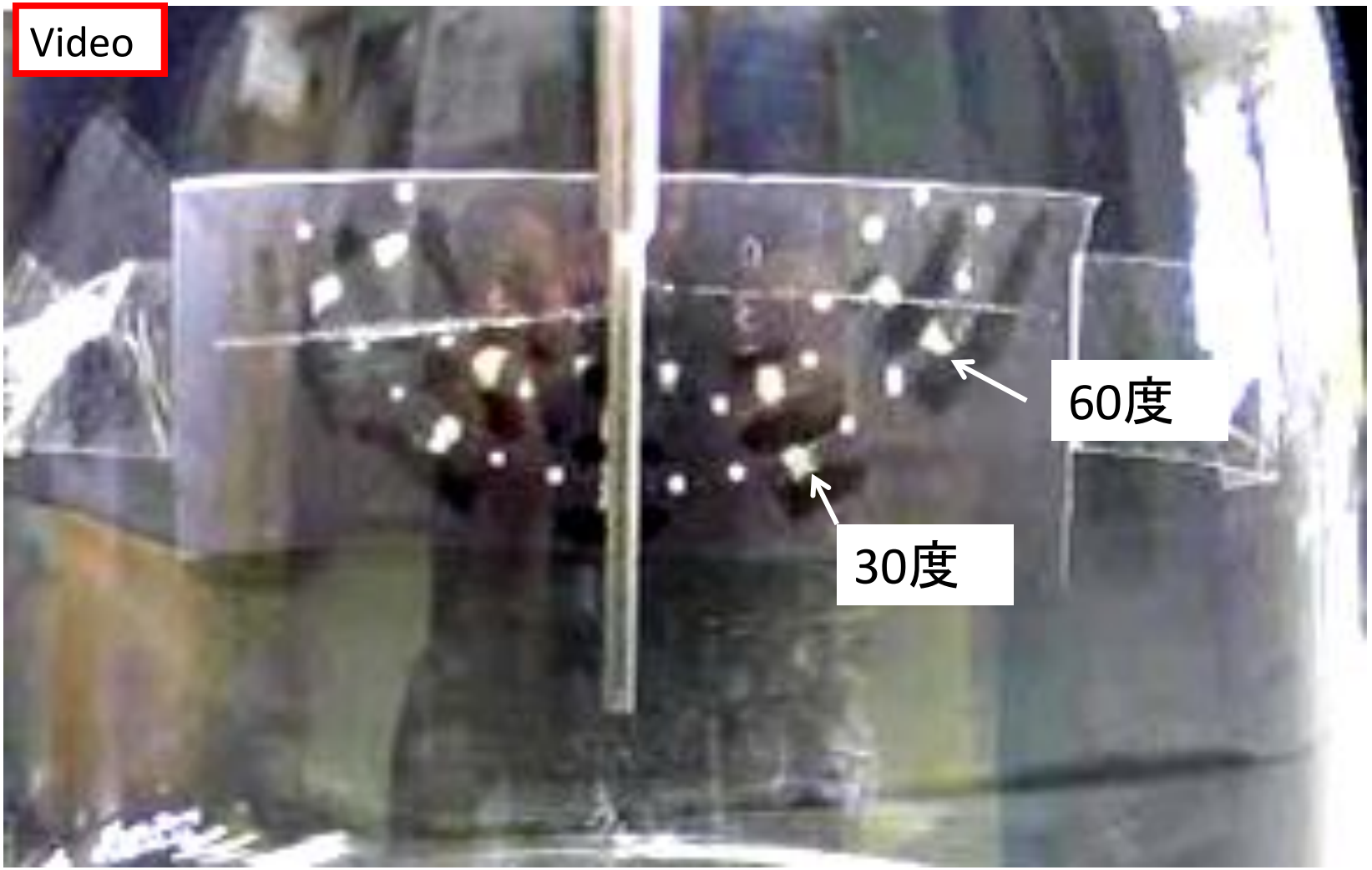
クルックス管に電圧を印加するとX線が発生して、箔検電器の開いた箔が閉じる！





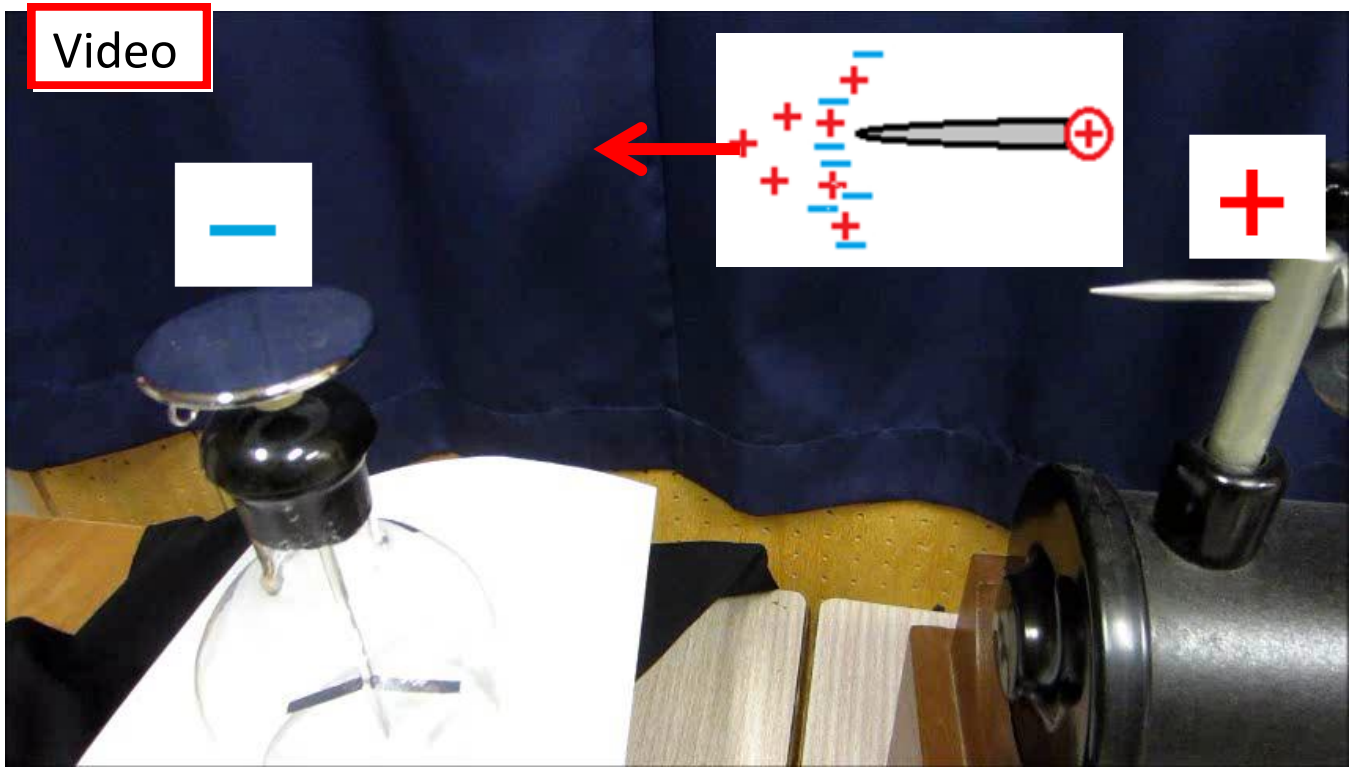
箔の開き角が60度から30度に閉じる時間Tは18秒であった。従ってX線の線量率は検量線より880μSv/hになる。より正確には、箔検電器に正の電荷を荷電した場合と負の電荷を荷電した場合の幾何平均値をTとする。

半減時間がより短い場合4.2秒→7.5mSv/h



針電極の先端でコロナ放電が起きていることを確認する実験

（電極の先端が鋭くない場合にはコロナ放電が起きない場合がある）

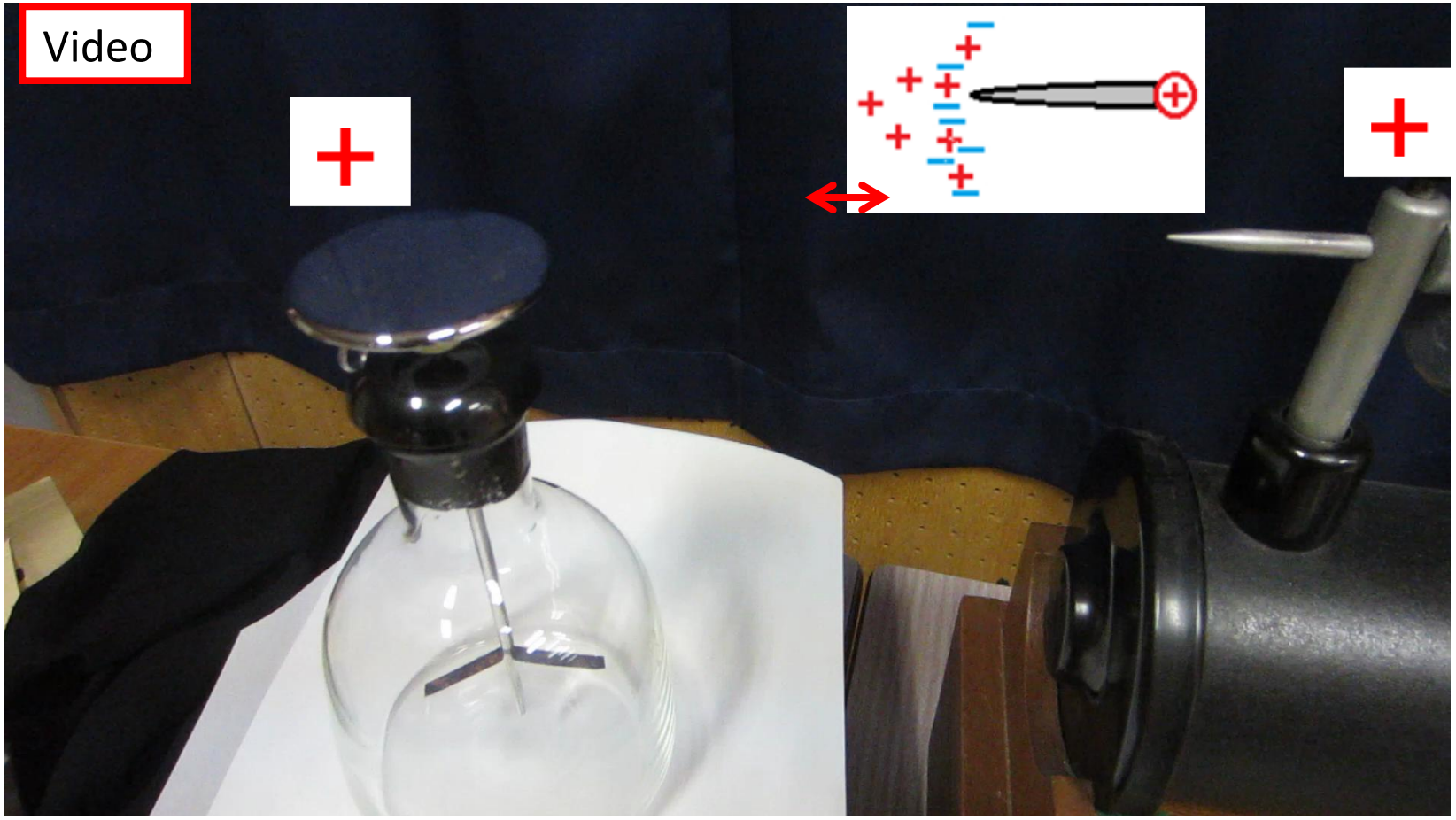


①箔検電器に負の電荷を荷電する。
②クルックス管をつながないで、 誘導コイルの尖った電極に正の電圧を印加する。
③箔が閉じる。

最初に箔が少し開くことで
電荷が負であることを確認

誘導コイルの
電源　ON　→　箔が閉じる

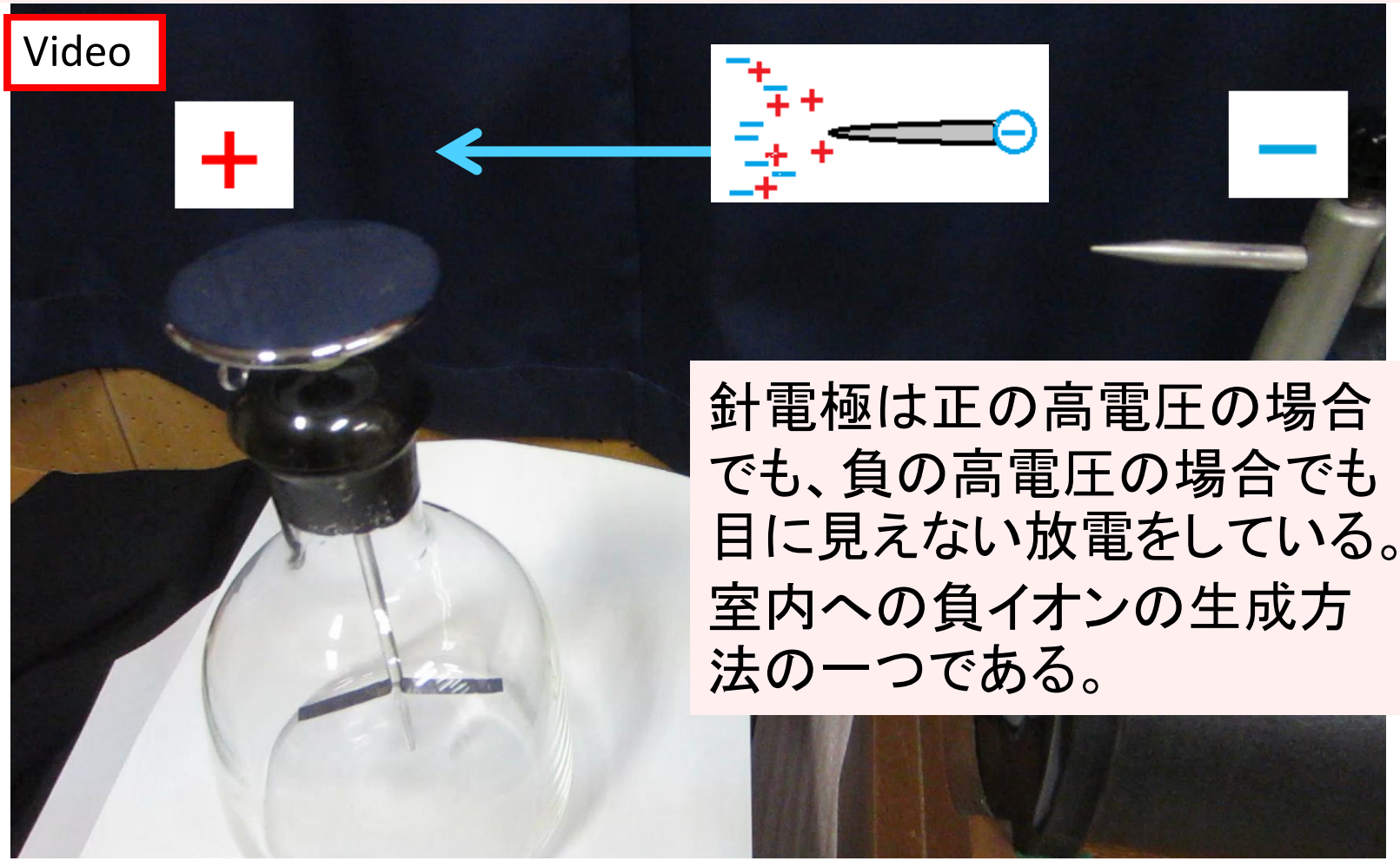
箔検電器の電荷正、針電極の電圧正：　箔は閉じない



最初に箔が少し閉じることで
電荷が正であることを確認

誘導コイルの
電源　ON　→　箔は閉じない

箔検電器の電荷正、針電極の電圧負：　箔は閉じる

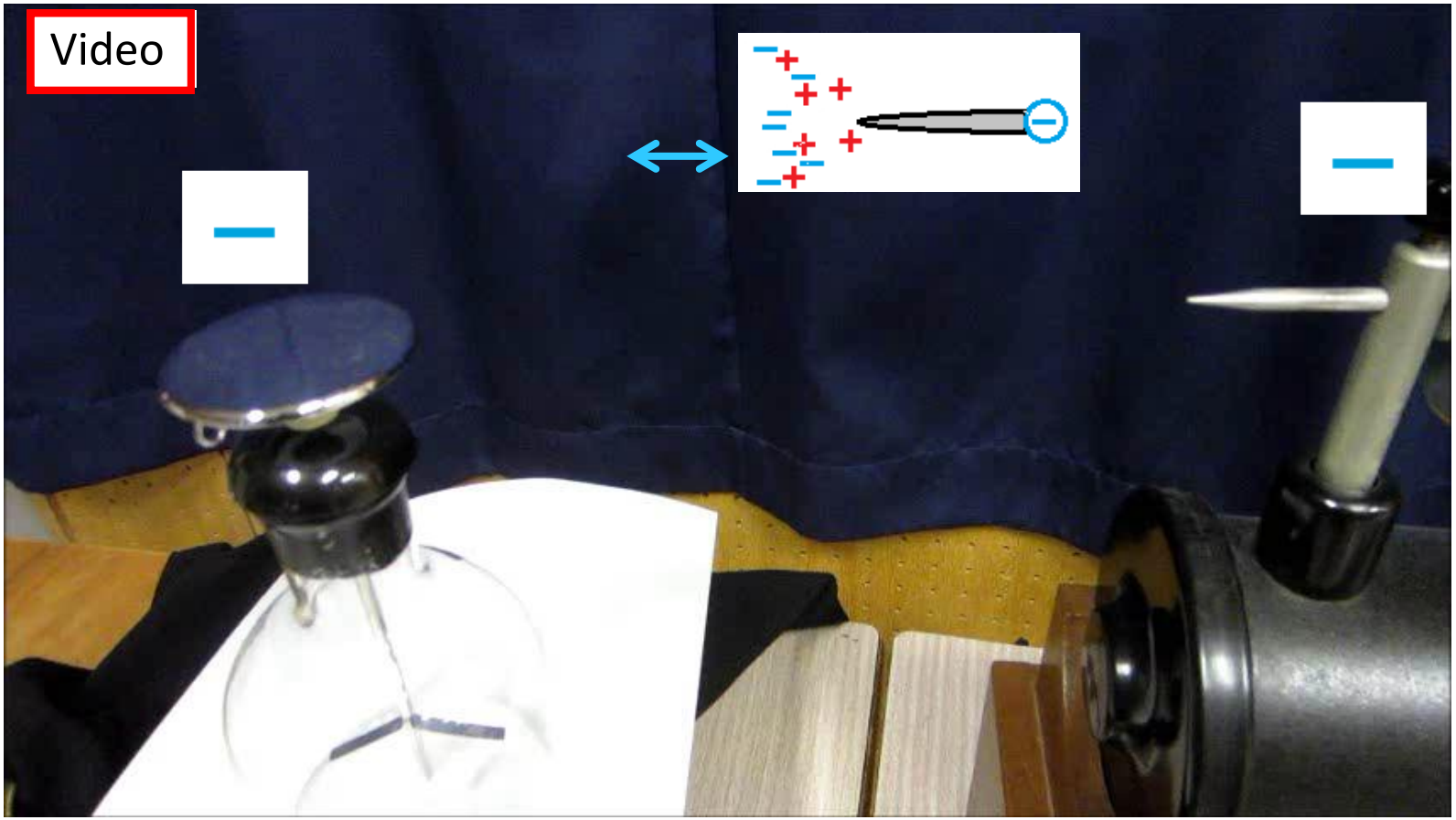


針電極は正の高電圧の場合でも、負の高電圧の場合でも目に見えない放電をしている。
室内への負イオンの生成方法の一つである。

最初に箔が少し閉じることで電荷が負であることを確認

誘導コイルの
電源　ON　→　箔が閉じる

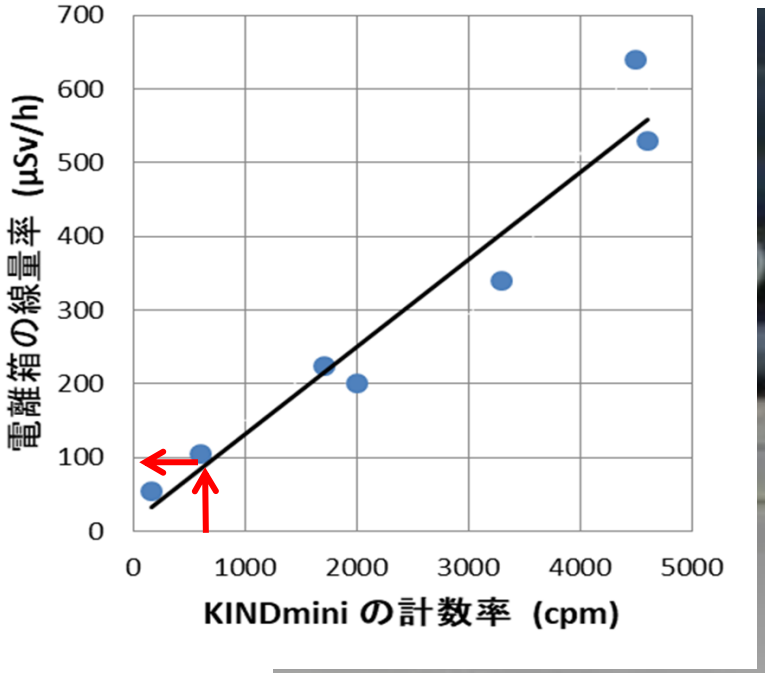
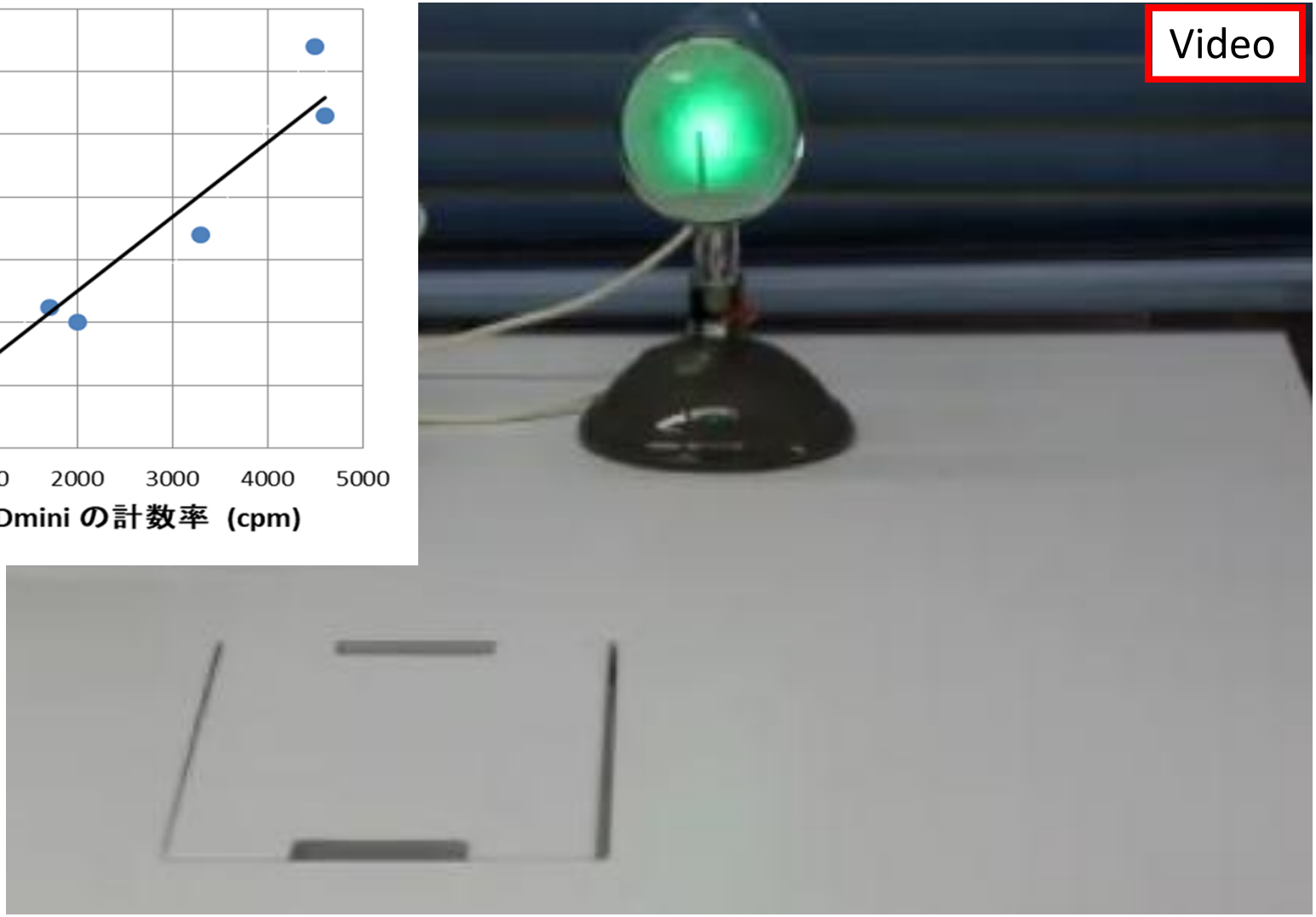
箔検電器の電荷負、針電極の電圧負：　箔は閉じない



最初に箔が少し開くことで
電荷が負であることを確認

誘導コイルの
電源　ON　→　箔は閉じない

開いている箔が炎からのイオンで閉じる

箔の電荷が正、負のいずれの場合にも閉じる

簡易放射線測定器 KIND-mini でX線の線量率を測定する