

## クルックス管プロジェクトシリーズ発表

# (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<sup>1)</sup>、森 千鶴夫<sup>1)</sup>、秋吉 優史<sup>2)</sup>、臼井 俊哉<sup>3)</sup>

名古屋大学<sup>1)</sup>、大阪府立大学<sup>2)</sup>、愛工大名電高校<sup>3)</sup>

## ▶ はじめに

中期の中学校学習指導要領 第2学年「電流とその利用」  
「クルックス管などの真空放電から電子の存在を理解させ、  
関連してX線にも触れる云々。

クルックス管からは、X線が漏洩している。

このX線 → 低エネルギー、パルス状 → GMサーベイメータ等での測定は困難



ほとんどの中学・高校で保有している**箔検電器**を用い  
クルックス管からの漏洩X線を測定する方法を開発

# クルックス管

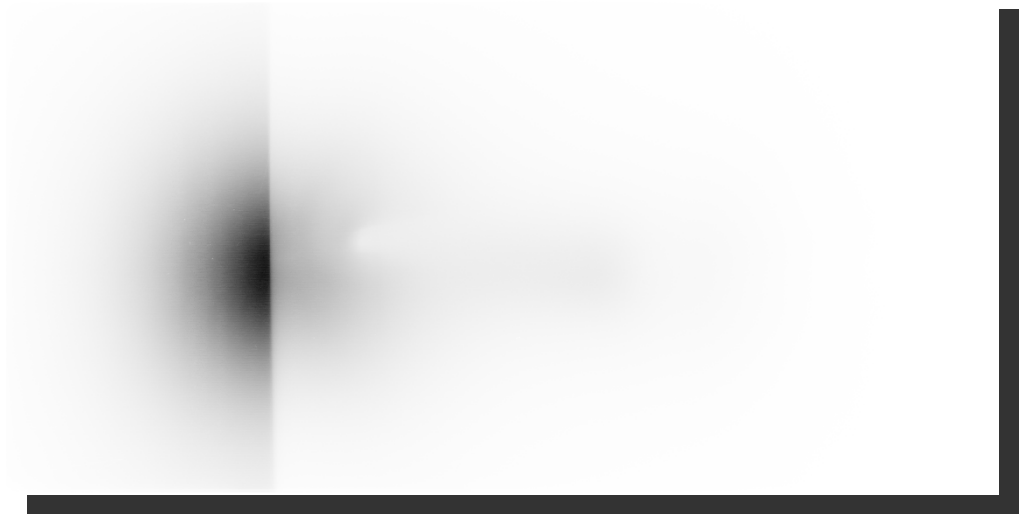
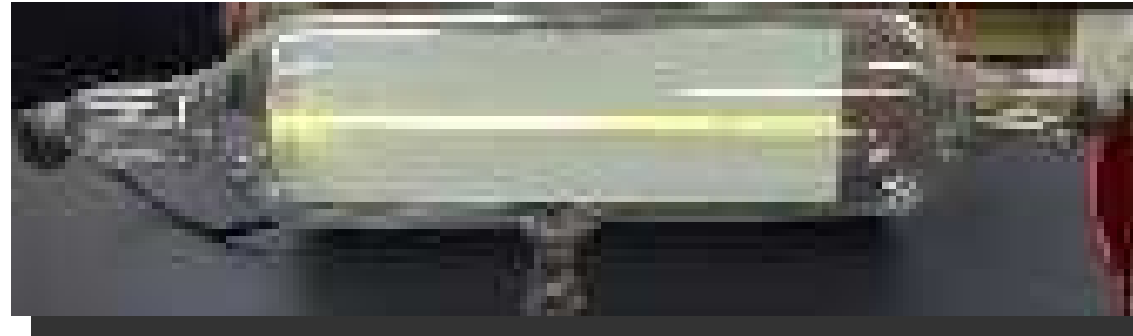


# X線はどの方向に出るか？

クルックス管



IP (Imaging Plate)



IP の画像 → X線の強度分布



# 実験装置

真空コイル  
HIDA  
-10E

電離箱  
日立アロカ  
ICS-323C

クルックス管

箔検電器  
RIDEN  
学林舎製

2018/06/29

## 使用した箔検電器



D



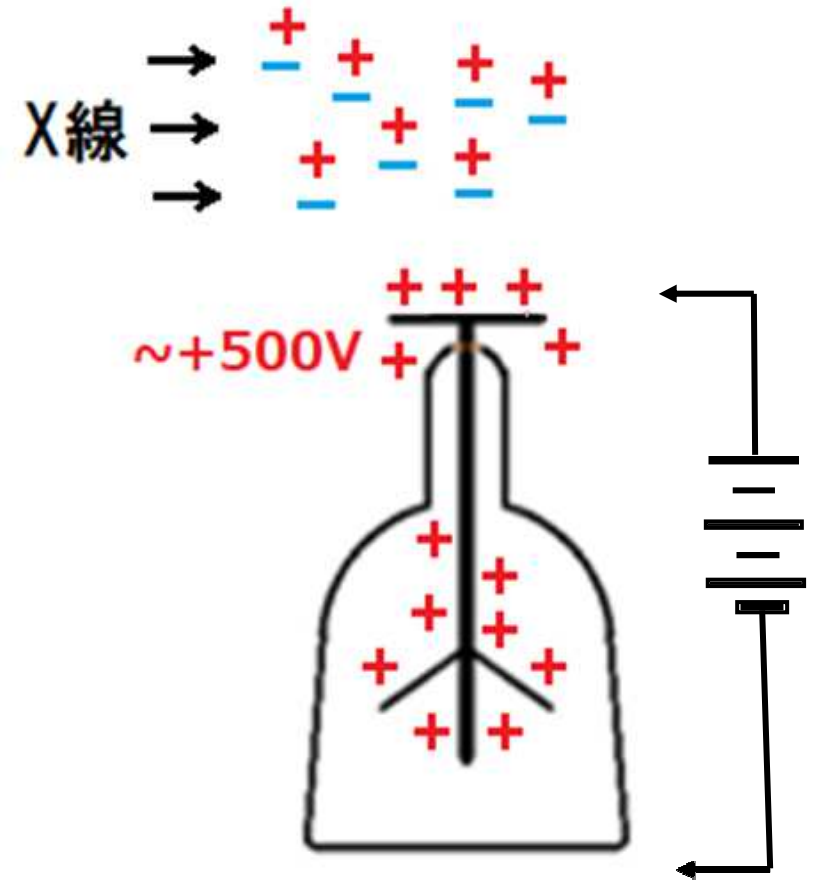
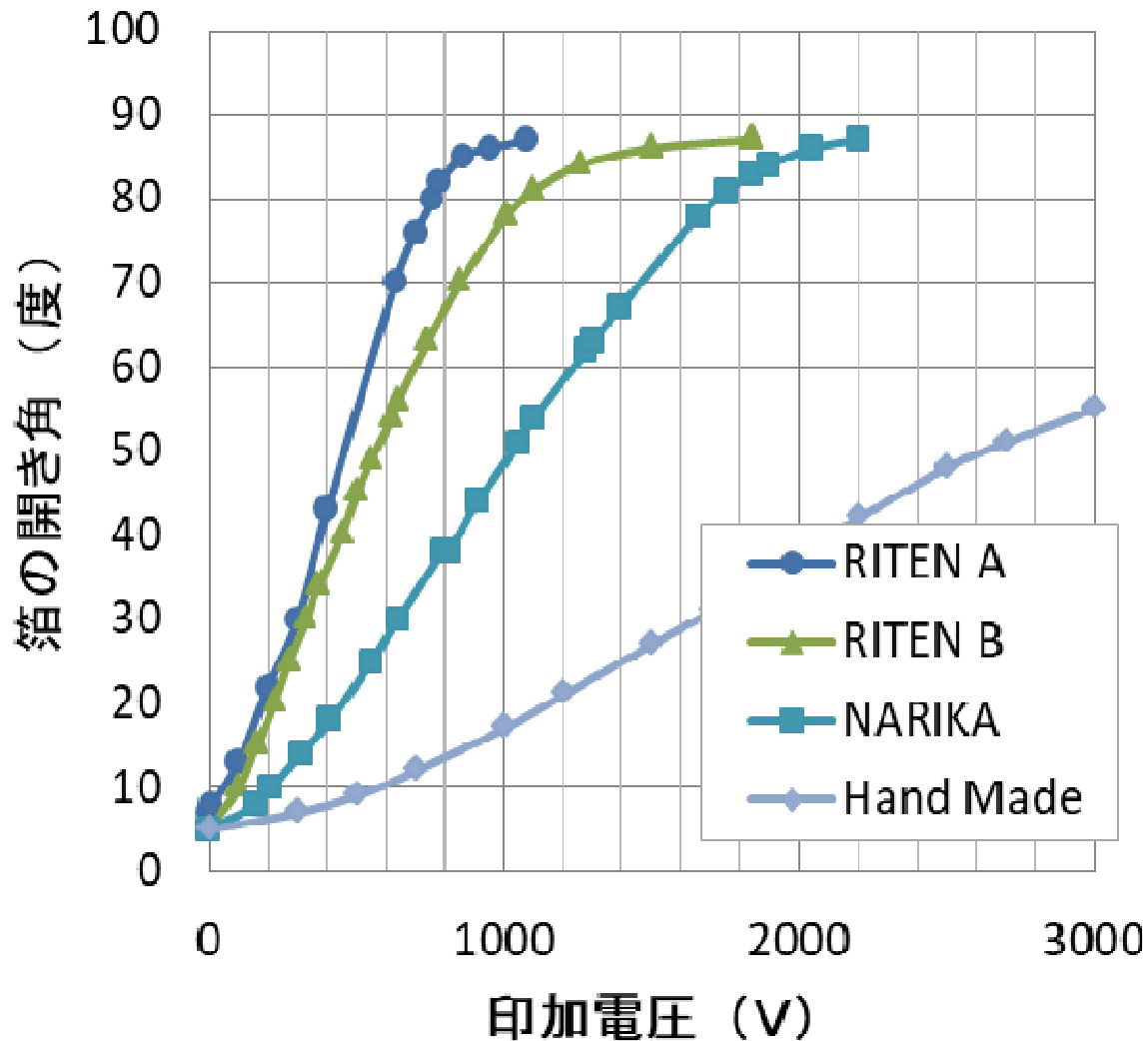
E

**NARIKA**

**RITEN 2個**

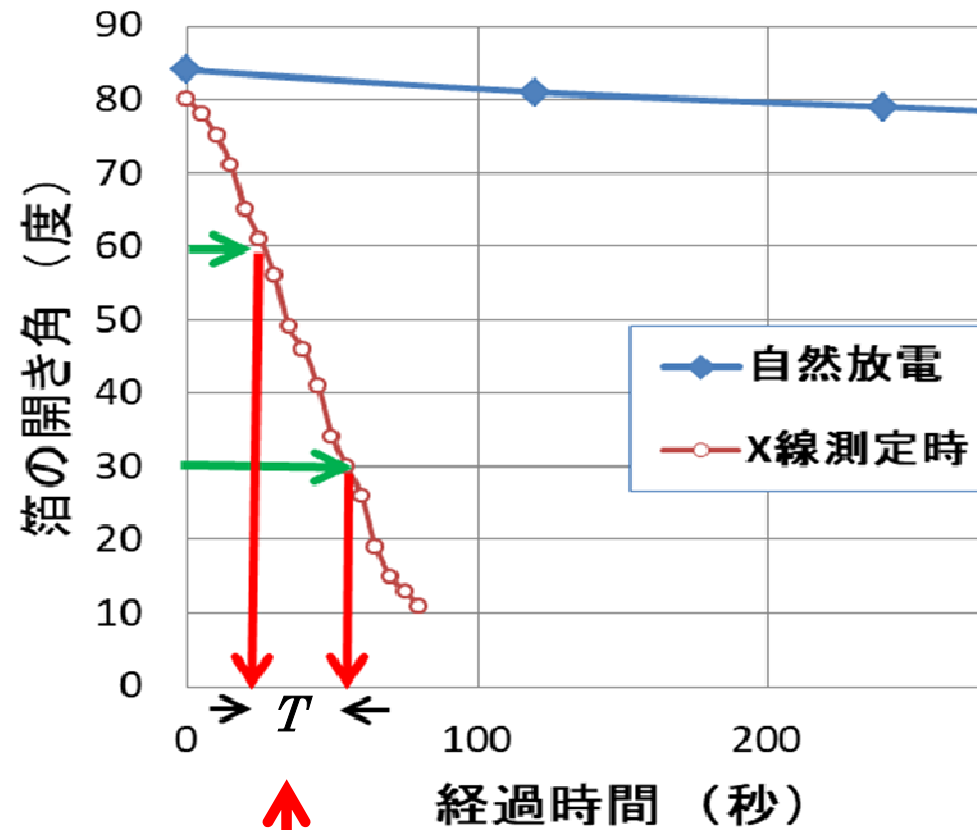
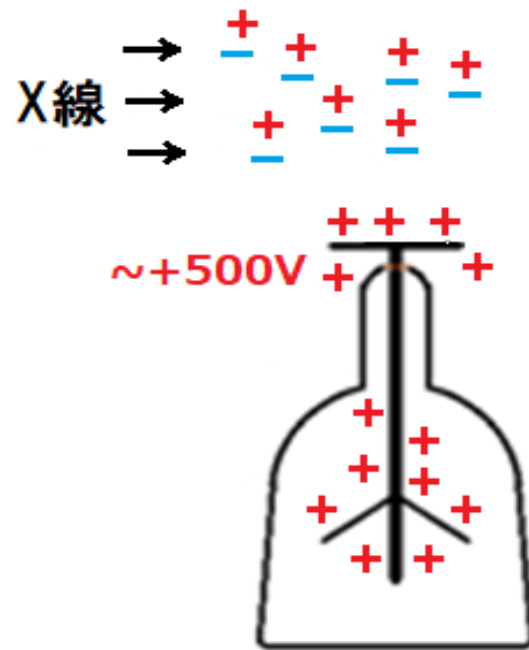
**手作**

# 箔検電器の荷電特性

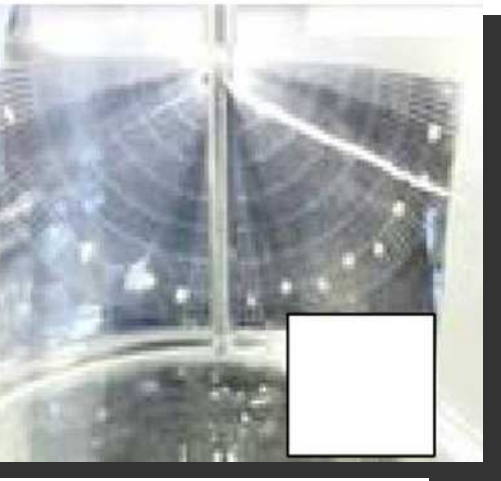


$Q = CV$   
 $C \doteq 1.5 \text{ pF}$   
 荷電された電子の数  
 $N_e = CV[\text{クーロン}] / e$

# 箔検電器によるX線の測定原理



**半減時間**



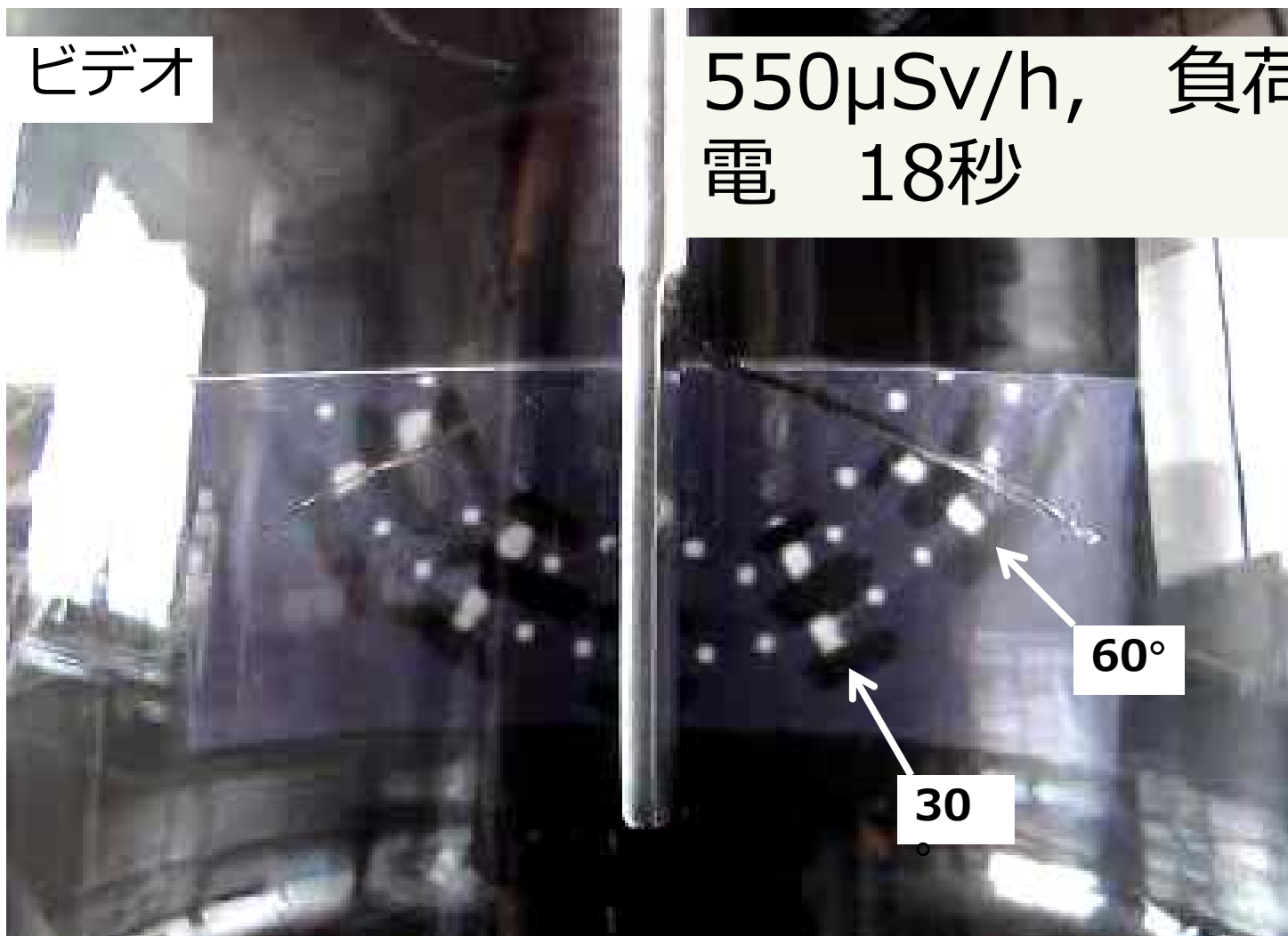
カメラで見た箔



# 箱検電器の箱の開き角が60°から30°になるまでの半減時間 $T$ の測定

ビデオ

550 $\mu$ Sv/h, 負荷  
電 18秒



# イオン対の電荷収集範囲のイメージ図

線が $100\mu\text{Sv/h}$ の時に空気中に作る電荷：

$$q=1.06 \times 10^{-15} \text{ C}/(\text{cm}^3\text{s})$$

$100\mu\text{Sv/h}$ の時の半減時間

$$T = 85 \text{ 秒であった}$$

半減時間の間に箔が失う電荷：  $Q=CV$

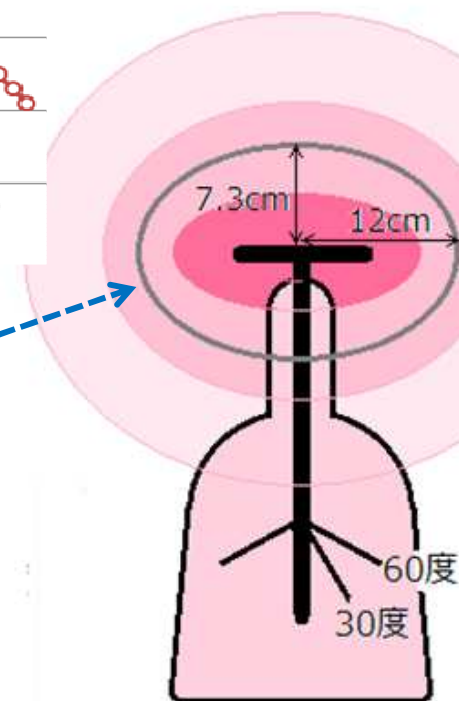
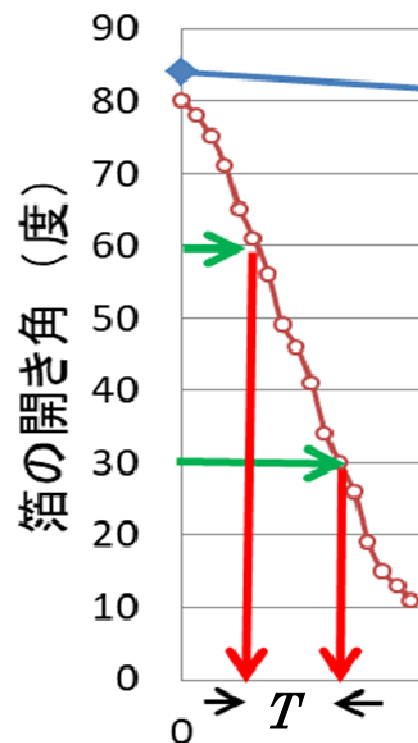
$$Q=3.9 \times 10^{-10} \text{ クーロン (C)}$$

空気中の電荷を100%集めると仮定した時に必要

体積：

$$V(\text{cm}^3)=Q/(q \times T)=4.4 \times 10^3 \text{ cm}^3$$

**長半径12cm、短半径7.3cmの  
回転楕円体（右図のグレーの線）**



# いくつかの問題点

## ①風

→ エアコン、扇風機、ストーブ

## ②電界

→ 荷電に使った塩ビパイプ・布

→ 導線の位置



正の荷電と負の荷電

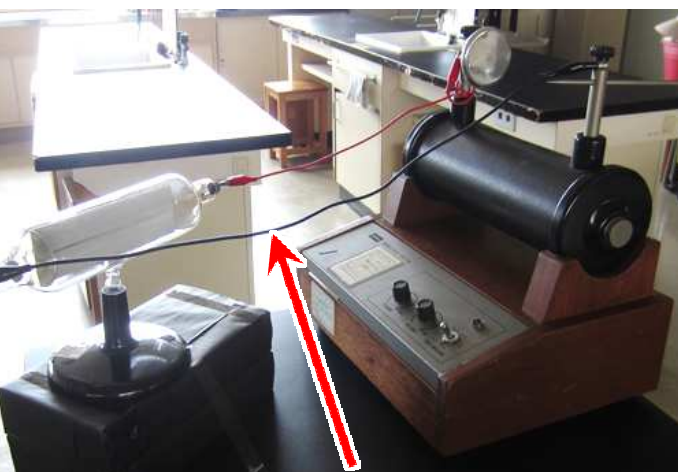


それぞれの半減時間： $T_+$ と $T_-$



幾何平均値： $T = (T_+ \times T_-)^{0.5}$

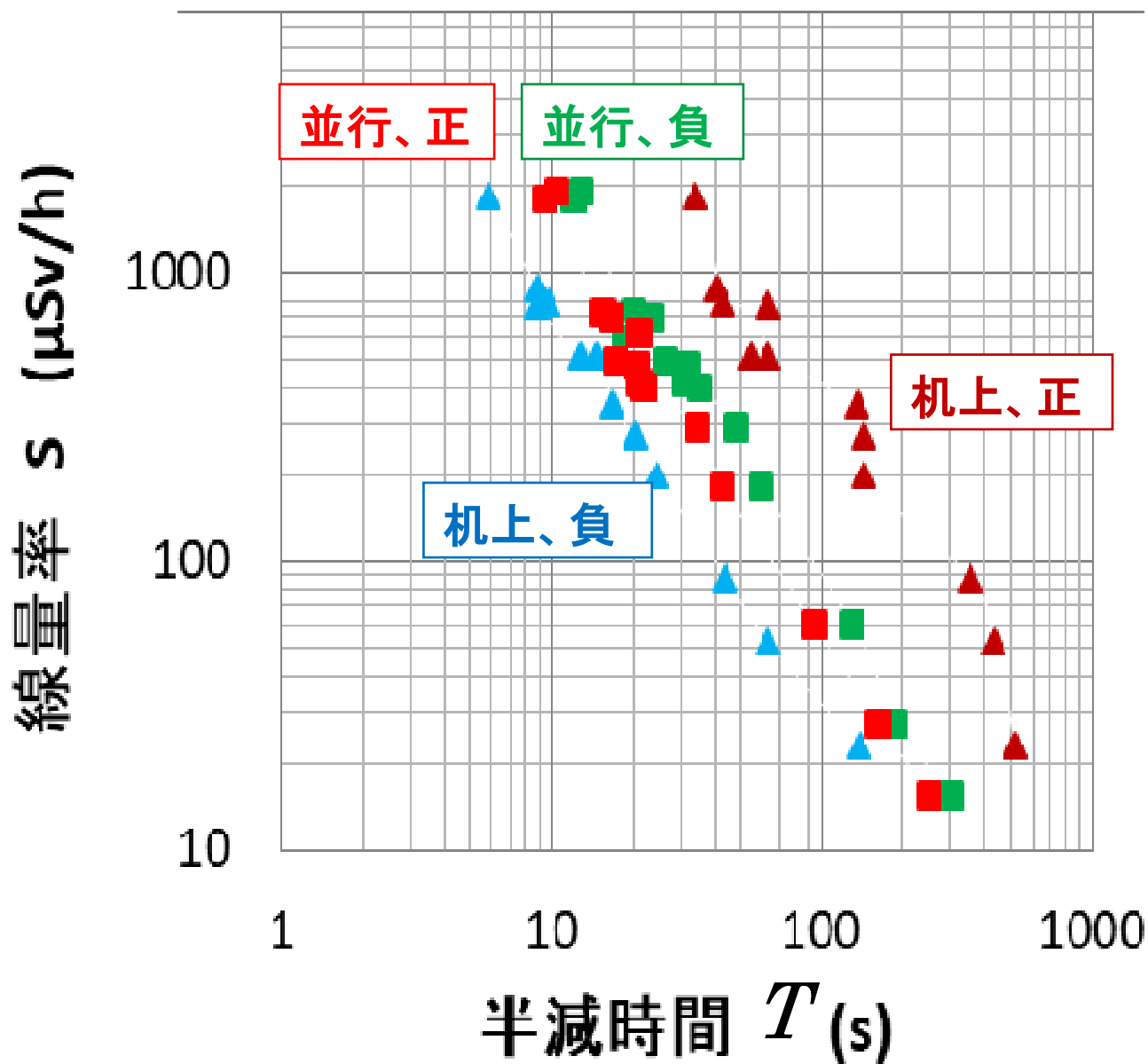
⇒導線の張り方や箔検電器への荷電の正負によって半減時間が異なる



電極につなぐ線：並行

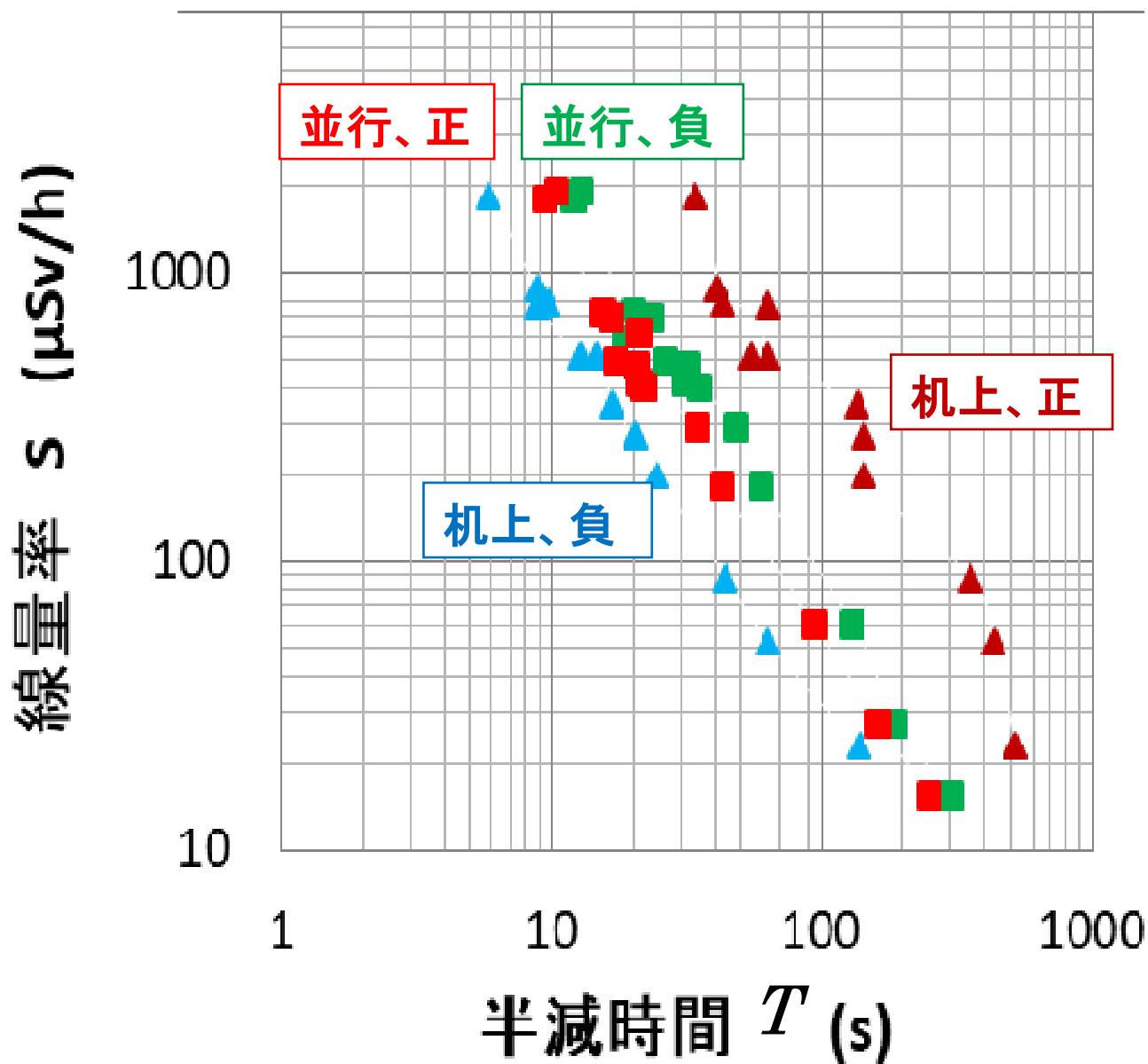
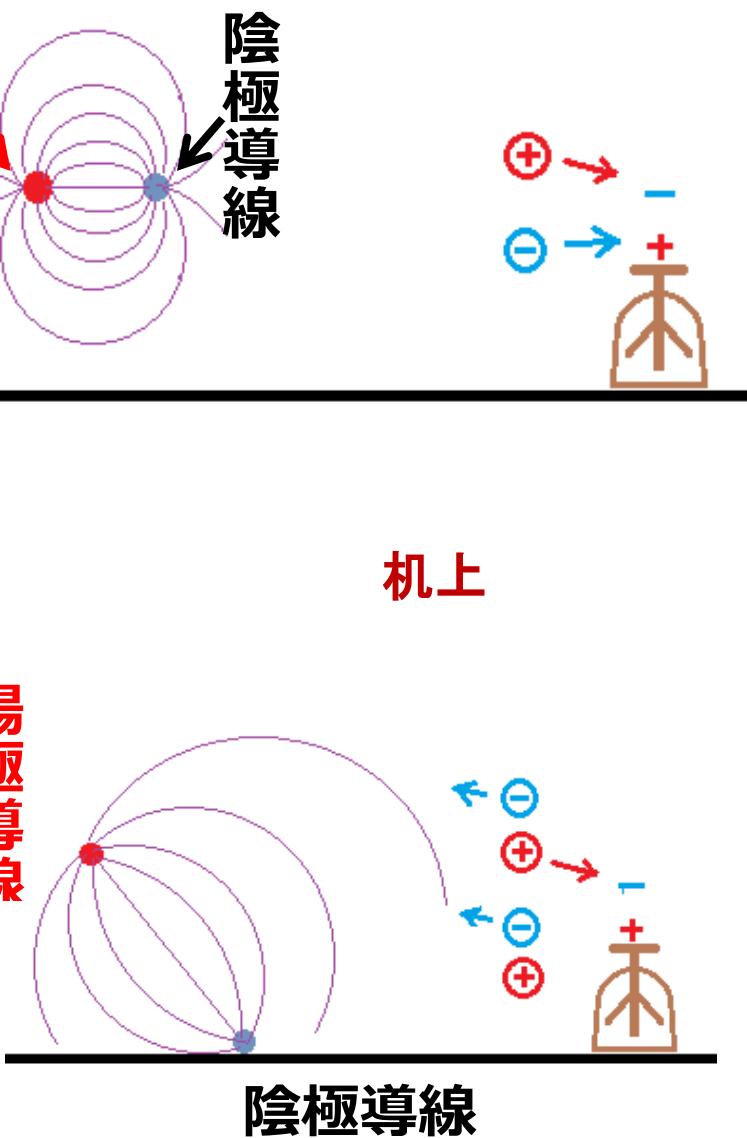


電極につなぐ線：机上

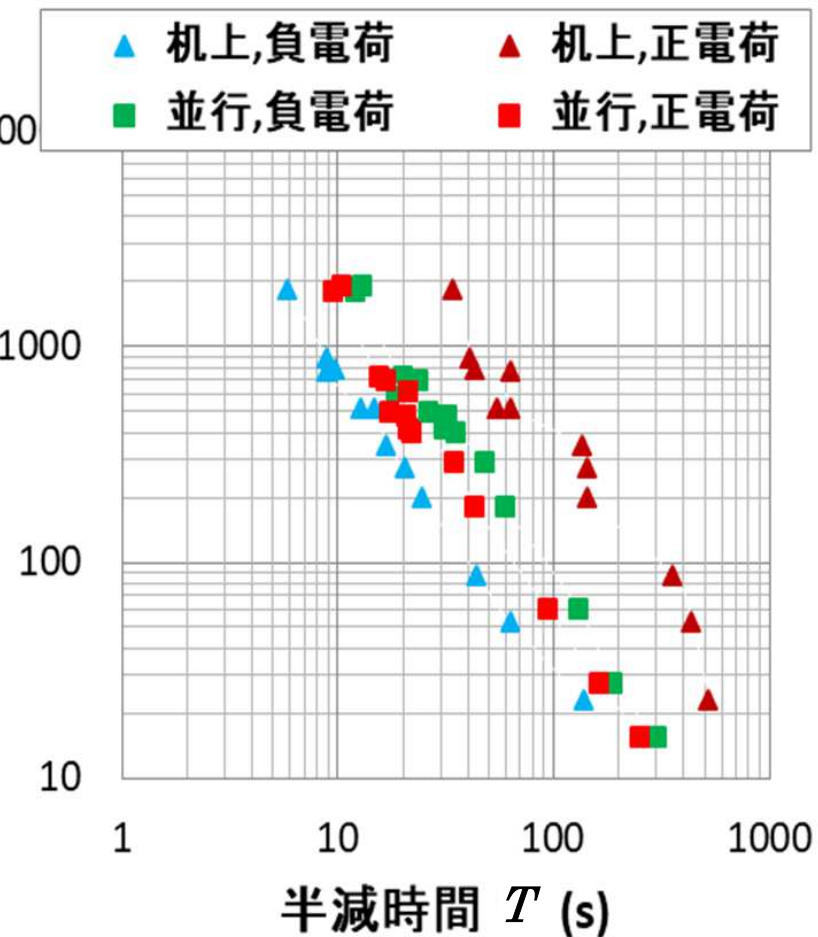




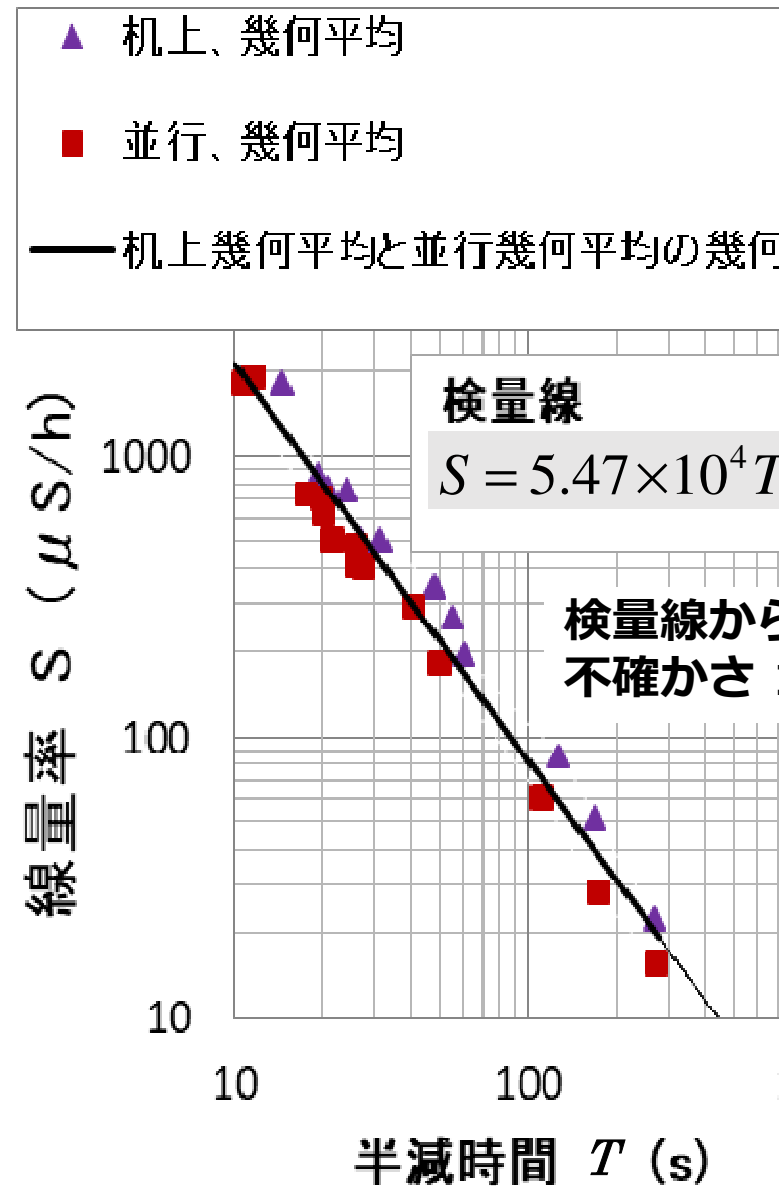
⇒導線の張り方や箔検電器への荷電の正負によって半減時間が異なる



# 検量線



正の電荷を荷電した場合の $T_+$ と負の電荷を荷電した場合の $T_-$ の幾何平均をとる。



# 測定法の不確かさ

導線の配置と測定ごとによる不確かさ

1%

メーカー別と測定ごとによる不確かさ

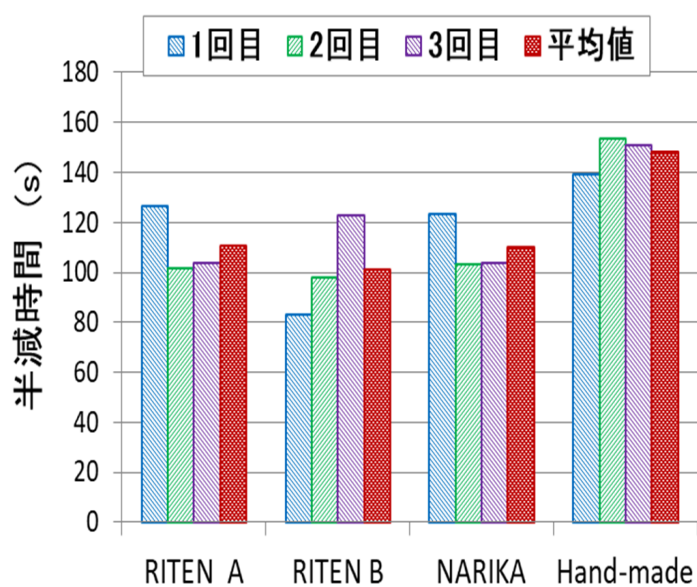
3%

測定の不慣れさによる不確かさ

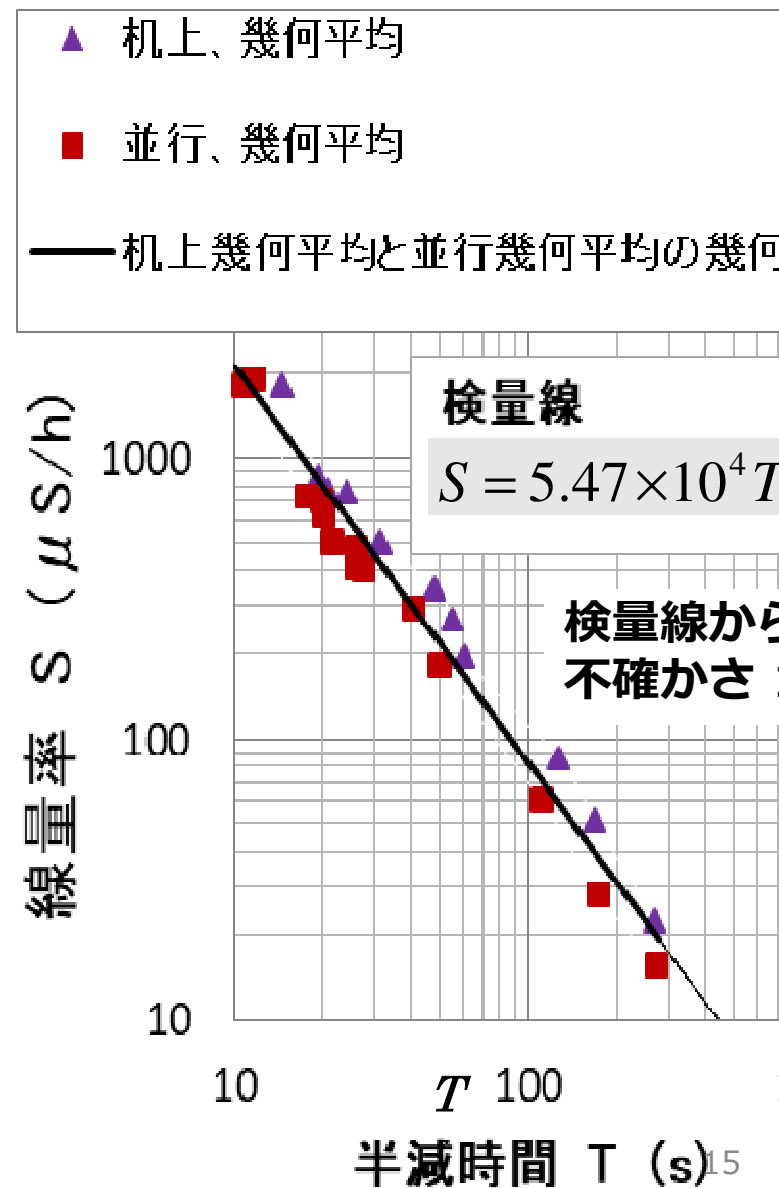
0%

全不確かさ

26%



=



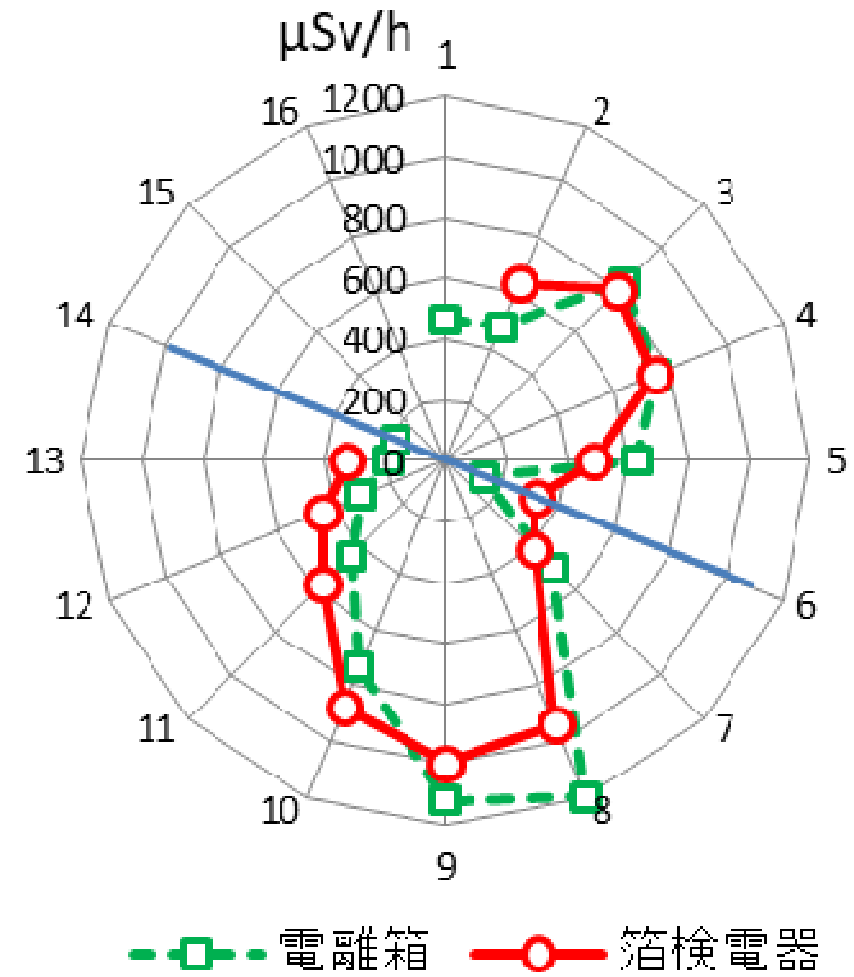
# 応 用

- X線の分布測定
- 遮蔽の厚さと線量
- X線のエネルギーの推定



# γ線の分布測定

## クルックス管の周囲の線量率測定 電離箱と箔検電器による測定の比較



# 箔検電器によるX線測定で注意すべきこと

- ① 箔検電器の絶縁部分を綿棒などできれいにし、電荷の自然放電を少なくする。
- ② 箔検電器の傍にガスストーブなどを置かない。炎からの温風は多量のイオンを含んでいる。
- ③ あまり風が通らないようにする。窓を閉める。エアコンや換気扇もできれば止める。
- ④ 塩ビパイプでの摩擦静電気の正や負の荷電後のパイプや布を、箔検電器の傍に置かない。
- ⑤ 箔検電器の使用に際しては、正の荷電と負の荷電のそれぞれの半減時間  $T$  を測定し、幾何平均値を使う。



# 結 論

- 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、先生自らがX線の線量率をその場で測定できる。
- 測定範囲は $10\text{mSv/h} \sim 10\mu\text{Sv/h}$  ( $\sim 1\mu\text{Sv}$ ) で、測定の不確かさは約 $\pm 26\%$ である。
- 箔検電器の使用に際しては若干の注意が必要であり、簡単な使用マニュアルを準備中。

# 箔検電器によるクルックス管からのX線の測定マニュアル

塩化ビニールのパイプを30 cm程度に切る。

箔検電器のホコリを拭い、絶縁部分を綿棒できれいにする。

塩ビのパイプを衣服で摩擦し、箔検電器に荷電して、箔を開かせる。閉じる時間(自然放電の時間)が30分以上であることを確認する。

黒い紙に白い修正液で角度のマークをつけて、箔検電器のガラスの外側に、反対側のガラスから見て角度マークの中心と箔の視点がほぼ一致するように貼り付ける。

実験室の窓を閉め、風を極力少なくする。換気扇をOFFにする。ガスストーブをOFFにする。

クルックス管と誘導コイルをつなぐ導線は並行に近いようにする。

電極の先端(2カ所)にビニールテープを巻いてコロナ放電が起きるのを防ぐ。

クルックス管から50cm程度離れた位置に箔検電器を置く。

箔検電器に正の電荷を荷電する。

誘導コイルのスイッチを入れる。

箔の開き角が60° から30° になるまでの時間(秒)  $T_+$  を測る。

箔検電器の負の電荷を荷電する。

箔の開き角が60° から30° になるまでの時間(秒)  $T_-$  を測る。

$T = (T_+ \times T_-)^{0.5}$  を計算する。

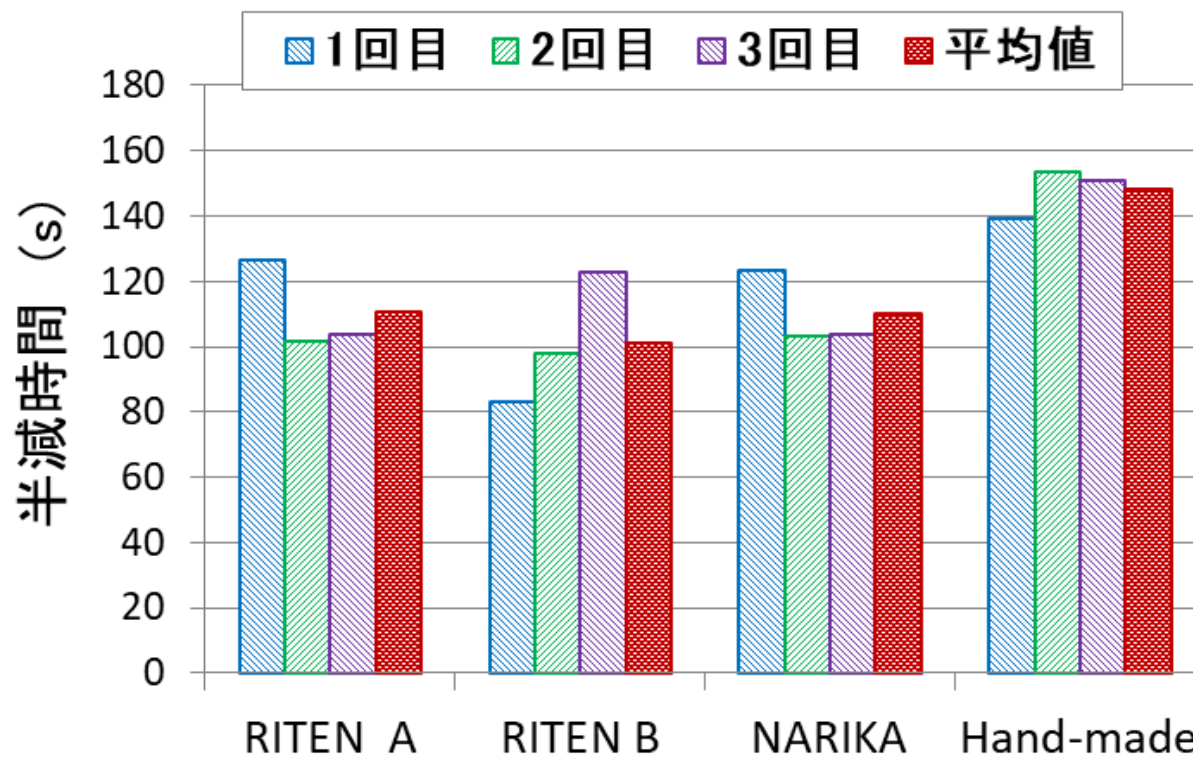
検量線(次式)からその場所の線量率( $\mu\text{Sv/h}$ )を読み取る。  $S = 5.47 \times 10^4 T^{-1.45}$



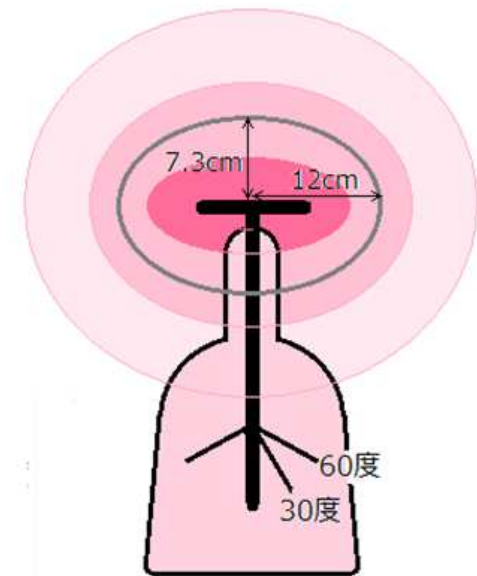
**ご清聴ありがとうございました。**



# 検量線は異なる箔検電器に対しても使用できそうである



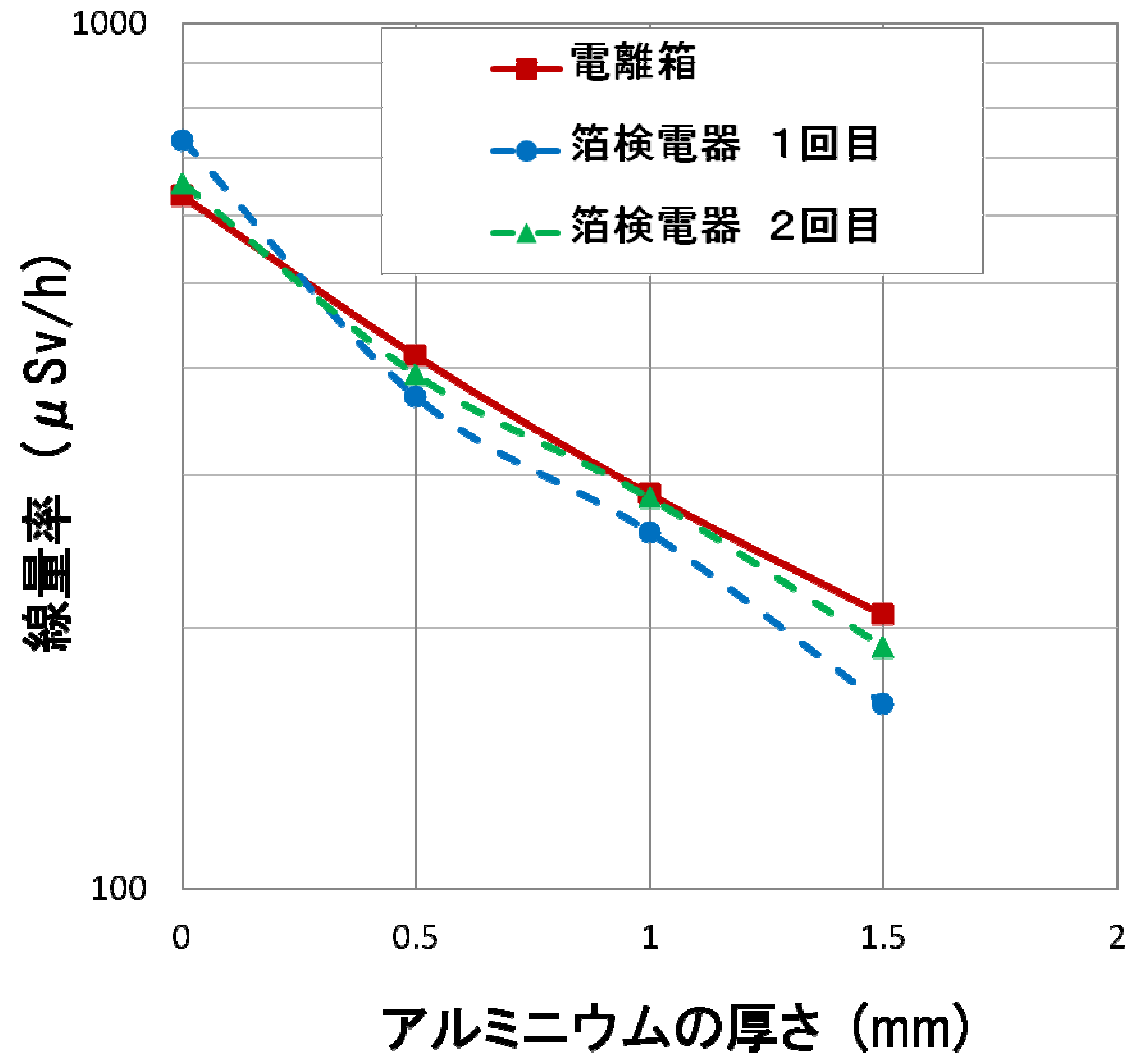
9回の測定の不確かさ 13%



NARIKAの箔検電器の静電容量はRITENの静電容量の約2倍である。しかし、半減時間Tはほぼ同じである。

電極の電圧が高くなれば、空気中の電荷を集める範囲が広くなると思われる

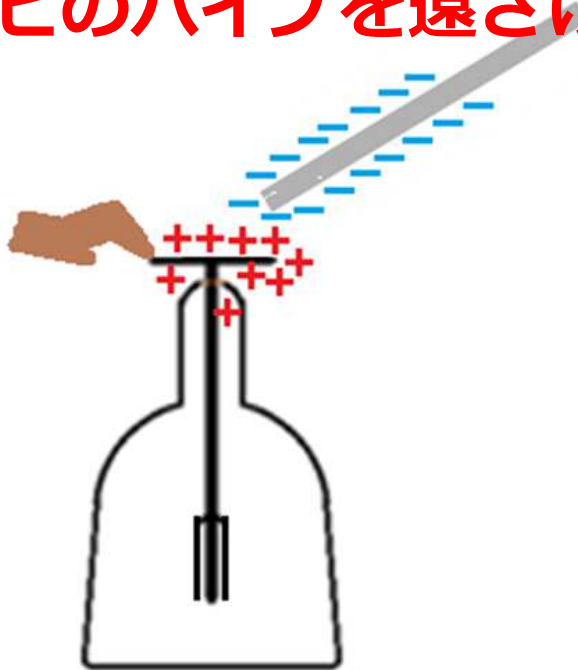
# 箔検電器によるX線の吸収実験



# 箔検電器の電極への荷電の仕方

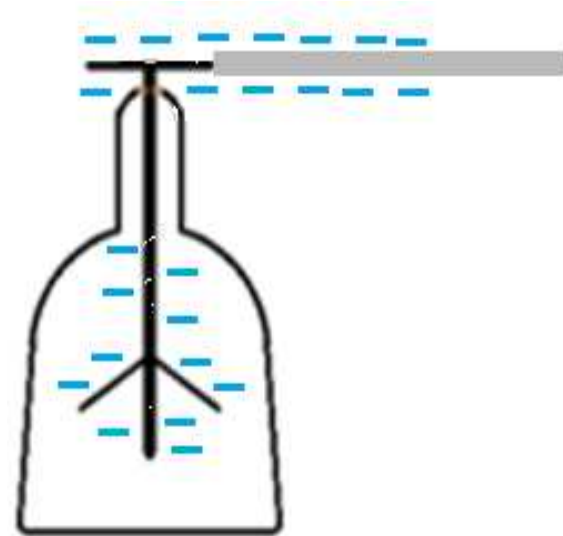
## 正電荷の荷電

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。手を離れたあとで、塩ビのパイプを遠ざける。



## 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る。



# 箱検電器による測定における電極などからの電子放出の影響

