

放射線の被ばく

酸素呼吸によるエネルギー生成、紫外線や様々な化学物質

がんを防ぐ体のはたらき

放射線が直接DNA鎖を切ってしまう直接作用もありますが、6-7割程度が活性酸素による間接作用です。



偏った食事や過労などのストレスにより、体の防御機能が上手く働かなくなってしまいます。

活性酸素などの発生

放射線や紫外線、生きていく上で絶対に必要な酸素呼吸によるエネルギー生産の過程で、化学的な活性の高い、活性酸素などのラジカルが発生します

活性酸素などがDNAと反応すると、二重らせんの鎖を切断してしまいます。

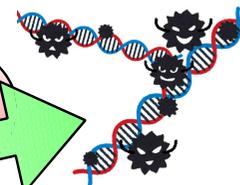
ビタミン、ポリフェノールや酵素などによる還元

DNA損傷の生成



バックアップデータからの修復

DNA損傷の修復誤り



あまりにもダメージが大きいと、完全に修復しきれなくなり、修復の際にミスが起こることがあります。

修復ミスが残ると、一部の細胞はがん化してしまいます。毎日数千個のがん細胞が発生しており、長い時間をかけて増殖しがんになり成長します。刺激物などによる炎症はがん化を促進します。

野菜や果物に含まれるビタミンやポリフェノールや体内で作られる酵素には、活性酸素を還元し無害にする働きがあります。



修復を断念して死を選ぶ

がん細胞の発生



DNAはお互いペアとなる分子が1組となり2重のらせん構造を持っているため、片方の鎖が切れてももう片方のデータをコピーすることで修復することができます。また、2本とも切れてしまった場合でもほとんどの場合で修復できる働きがあります。



免疫細胞による攻撃

がん細胞の悪性化

あまりにもダメージが大きいと、完全に修復しきれなくなり、修復が無理だと判断した細胞は自ら死を選ぶことで、間違った遺伝情報が残らないようにします(アポトーシス)。人の体は37兆個といわれる沢山の細胞で出来ていて、毎日沢山の細胞が死んで、また新しく生まれて機能を維持しています。



NK細胞(ナチュラルキラー細胞) 全身をパトロールし、がん細胞やウイルス感染細胞などをみつけ攻撃する。

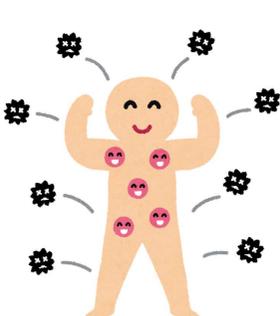
体の中には病原菌やウイルス、がんを攻撃する様々な免疫細胞がはたらいています。その中の一つナチュラルキラー細胞(NK細胞)はがん細胞を狙い撃ちすることが出来る細胞です。笑うことによって活性化する一方、ストレスに弱いことが知られています。免疫細胞の働きで、体内で発生した変異細胞のほとんどが摘み取られています。

放射線治療



逆に、大量の放射線がんを集中的に照射することで、がん細胞を殺してしまう治療法があります。

バランスの取れた楽しい食事  
健康な体を保ちましょう!



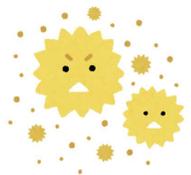
→ 医療のコーナーをチェック!



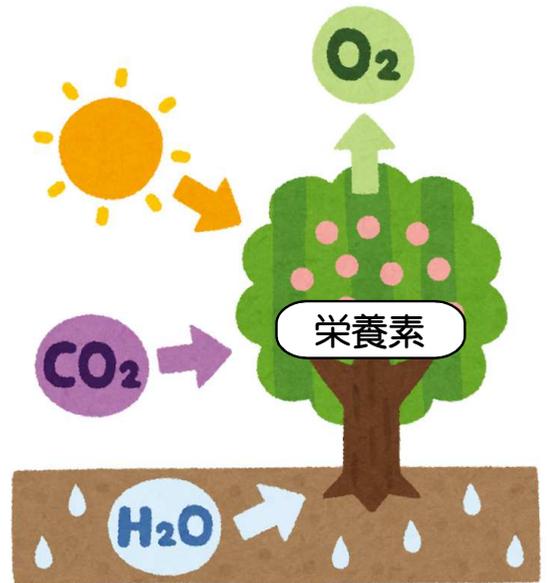
どうして野菜を食べなくちゃいけないの？

光合成の際の化学反応や紫外線の影響

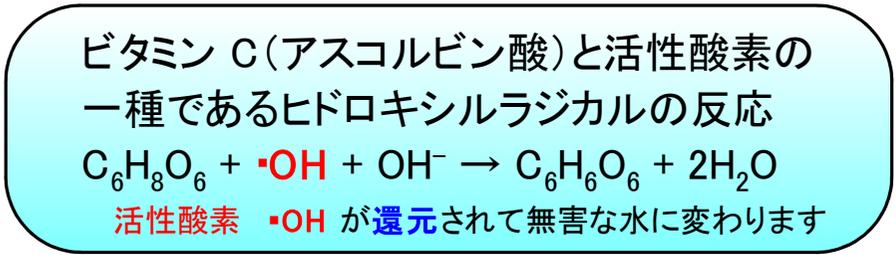
活性酸素などの発生



植物は光合成により水と二酸化炭素と光のエネルギーからデンプンなどの栄養と酸素を作り出しています。この時の化学反応で、非常に活性の高い活性酸素が沢山作り出されてしまい、そのままでは植物は自分の光合成反応のために死んでしまいます。



植物による光合成



そこで、植物はビタミン類やポリフェノールなど様々な抗酸化物質を自分で作り出すことで、活性酸素を還元して無害にし、自分の体を守っています。また一部の色素は紫外線を吸収して活性酸素の生成を抑制します。

ビタミン類やポリフェノールを自分で作れない動物は、野菜や果物、肉食獣ならばそれを食べた他の動物を生で食べることで自分の体にビタミンなどを取込み、活性酸素から身を守っています。

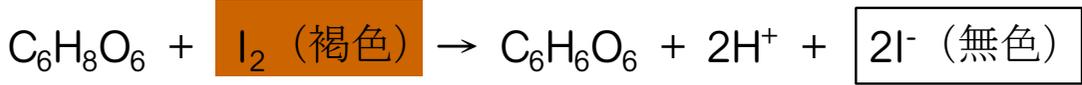
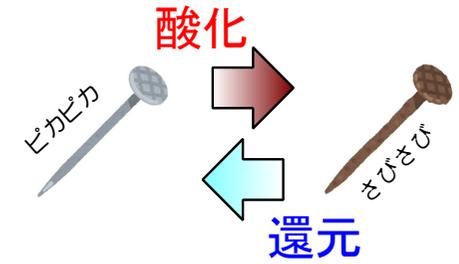
植物が作ってくれたビタミンなどを、感謝して頂きましょう！



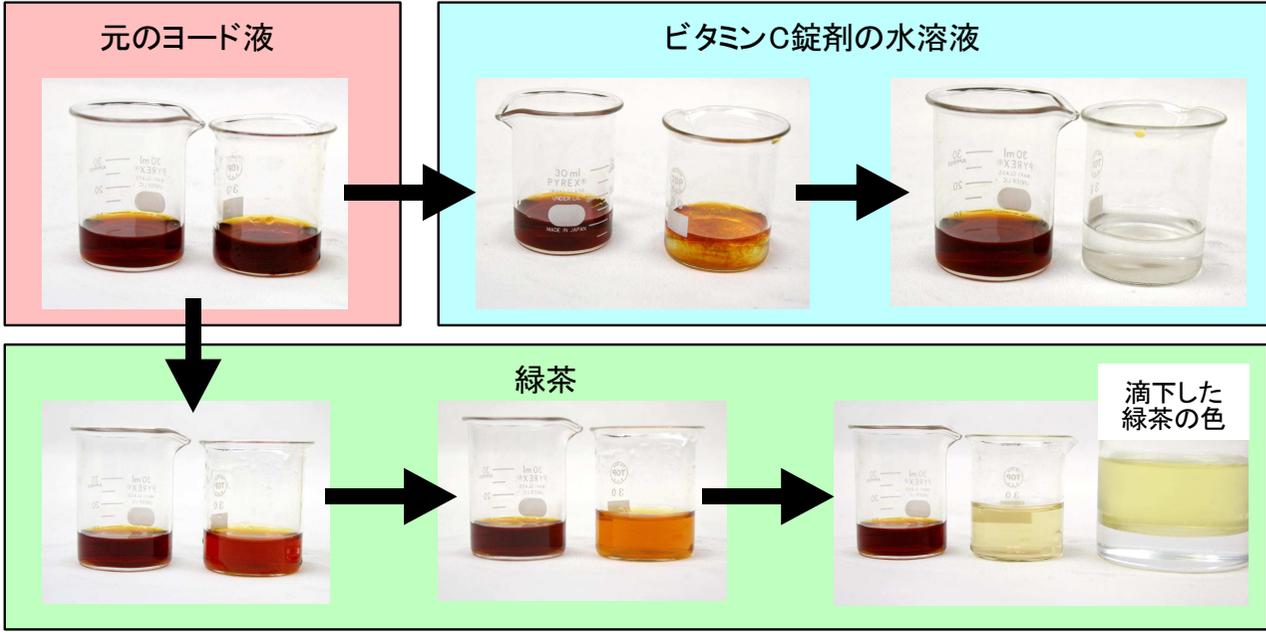
# ヨード液の色を変えてみよう!

うがい薬に使われるポピドンヨードは、ヨウ素の穏やかな酸化作用を利用した殺菌剤として知られています。

ここでは、褐色を示すヨウ素を**活性酸素の代わり**の「**酸化剤**」としてとらえ、ビタミンCなど抗酸化食品によって**還元**されると色が無くなっていく様子を観察します。これによって体内での活性酸素を還元するはたらきが理解できます。



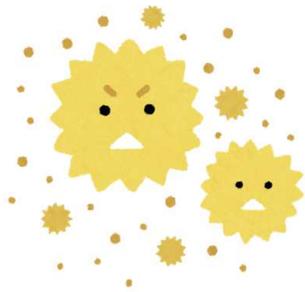
ヨウ素はビタミンCによって**還元**されています。逆にビタミンCはヨウ素に**酸化**されてデヒドロアスコルビン酸になります。



逆に、無色のヨウ素イオンに放射線をあてると、活性酸素の作用でヨウ素イオンが酸化されて、ヨウ素分子になり色が付きます。この色の濃さを測定することで、どの程度放射線が当たったのを知ることが出来ます。ただし、0.5~100Gy という非常に沢山の放射線を当てないと色を変えることは出来ません。

福井工大 砂川武義「PVA-KI系におけるゲルインジケータ」

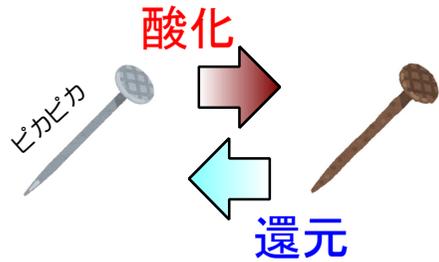
# 活性酸素ってなに？



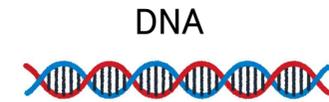
動物は食べ物から取込んだ栄養分を酸素を使って体を動かすエネルギーにしています(呼吸)。植物は水と二酸化炭素と光のエネルギーからブドウ糖などの栄養分と酸素を作り出しています(光合成)。そのどちらの化学反応でも、様々な物質を酸化させてしまう「活性酸素」という物質が発生します。さらに、紫外線や放射線を浴びたり、タバコや排気ガス、重金属などの化学物質の摂取などにより、体内での活性酸素の発生が増加します。

スーパーオキシド、一重項酸素、ヒドロキシラジカルなど。

細胞の中にある器官、ミトコンドリアで酸素を使ってエネルギーを生産する際に、活性酸素が発生します。



必ずしも「酸化=悪」「還元=体に良い」と言うわけではありません。免疫細胞によっては活性酸素を使って細菌を撃退しています。しかし酸素を使ってくらしで居る私たちの体は少しずつ酸化されていくため、出来るだけ活性酸素を打ち消していく必要があります。全てのポリフェノールなどの働きが明らかになったわけではなく、その効果には疑問視されている物もありますし、過剰摂取すると体に良くないとされている物もありますので、安易にサプリなどに頼らず、バランスの取れた食事を心がけましょう。



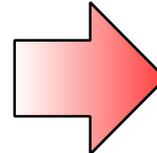
細胞壁の脂質



しなやかな血管



酸化



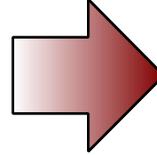
過酸化脂質

動脈硬化、血栓

カチカチ



病気



老化

がん



心疾患



脳卒中



## からだを守る抗酸化物質

Vitamin A



Vitamin E



緑黄色野菜に多く含まれるβ-カロテンから生成され、皮膚や粘膜を正常に保ちます。

植物性油脂やカボチャなどに多く含まれ、過酸化脂質の生成を抑えてくれます。

油と一緒に摂取すると吸収率がアップ↑

Vitamin C



非常に抗酸化力が強く、食品の酸化を防ぐために添加物としても入れられています。熱に弱く、また水に溶けやすく尿から排泄されてしまうため毎日摂取が必要です。

ポリフェノール



赤ワインやブルーベリーのアントシアニン、大豆のイソフラボン、緑茶のカテキン、ゴマのセサミンなど様々な物があり、抗酸化作用だけでなく視力回復、血圧低下、アレルギーの改善など様々な効果があるとされています。

抗酸化酵素



外から摂取するビタミンなどとは違い、体の中でタンパク質から作られる酵素にも過酸化水素を無毒化するなどの働きがあります。作るために亜鉛やマンガンなどのミネラルが必要です。

それぞれの役割を持つ免疫細胞達は、体の中に入ってくるさまざまな細菌やウイルス、そしてがん細胞と、毎日戦い続けて、健康な体を守っています。

## 免疫細胞たちの活躍



学校の授業、身体の中のことを教える機会、医療施設での各種説明、及びそれらに類似する場などで、「はたらく細胞」で擬人化された細胞たちや細菌等の画像の一部を無償で利用することができます。

### 白血球 (好中球)



外部から体内に侵入した細菌やウイルスなどの異物を食べて排除する(貪食)。好中球は血液中の白血球の半数以上を占めており、最前線で真っ先に侵入者と戦う自然免疫の細胞。多種類の異物、病原体の分子に反応することができるが、特定の病原体に繰り返し感染しても、自然免疫能が増強することはない。

### ナチュラルキラー NK細胞



全身をパトロールし、がん細胞やウイルス感染細胞などを見つけ次第攻撃する自然免疫細胞。自分でがん細胞を判別することができるためがん細胞への攻撃力が特に強い。笑うことによって生じる神経ペプチドによって活性化する一方で、ストレスによるホルモンで活性が低下する。

### マクロファージ



細菌などの異物を捕らえて殺し、抗原や免疫情報を見つけ出す。がん細胞を発見すると、それを食べて確認して、ヘルパーT細胞に伝える。殺傷能力が高く、死んだ細胞や細菌を片付ける役割も有している。

### 樹状細胞



体内に侵入してきた細菌や、ウイルス感染細胞などの断片を抗原として提示し、他の免疫系の細胞に伝える役割を持つ。その名の通り周囲に突起を伸ばしている。

抗原情報の提示

### ヘルパーT細胞



外敵侵入の知らせを受け、敵の情報をもとに、的確に攻撃できるように戦略を決める司令官。マクロファージや樹状細胞からもらった抗原情報を基に、キラーT細胞やB細胞をその抗原に合わせて活性化する。

初めて対応する抗原に対しては、抗原情報の獲得、分析、活性化、抗体の生産までに、2~3日かかってしまいます。一度対応した抗原は記憶されており、次回から素早く反応します。

毎日これらの敵と戦っています!



### キラーT細胞



ウイルス感染細胞、がん細胞などの異物を認識・破壊する殺し屋。抗原情報を受け取ったヘルパーT細胞の命令(サイトカインの分泌)によって活性化して出動する。一度出動したあとは、記憶T細胞が残り次回素早く反応する。

### B細胞



細菌やウイルスなどそれぞれ異なる抗原に対し、抗原特異的な抗体(免疫グロブリン)というオーダーメイドの武器を作って戦うリンパ球の一種。一度抗体を作ると記憶B細胞が残り次回の侵入時に素早く抗体を作ることができる(いわゆる免疫の獲得)。

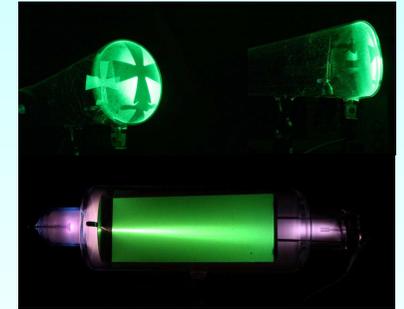
# クルックス管を使って安全に実験をするためのお知らせ

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第1回のノーベル賞を受賞しています。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、実効線量が10分間で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してしまう危険性があります。

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注意点

- ・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。

郵送できる小さな nano-Dot 線量計により、各学校の装置の線量を自分たちで計測出来るサービスが無償で提供しています。  
連絡先: 大阪公立大学 放射線研究センター 准教授 秋吉 優史  
Mail: akiyoshi-masafumi@omu.ac.jp Website QRコード →



# 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。

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。また大阪公大のふるさと納税制度による提供も可能です。

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。

- 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

**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]。

放射線防護の  
三原則

**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 <  $10 \mu\text{Sv}$  (国際的な免除レベル)  
最も線量の高い装置でも  $40 \mu\text{Sv}$  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。

## $10 \mu\text{Sv}$ ってどれぐらいの被ばく線量?

歯科レントゲン撮影1回:  $10 \mu\text{Sv}$ 、胸部レントゲン撮影1回:  $50 \mu\text{Sv}$   
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:  $100 \sim 200 \mu\text{Sv}$   
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との差:  $380 \mu\text{Sv}$   
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:  $800 \mu\text{Sv}$

## 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  $500 \mu\text{Sv}$ 、個々の授業では  $50 \mu\text{Sv}$  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？

**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氣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。

陰極

放電極距離

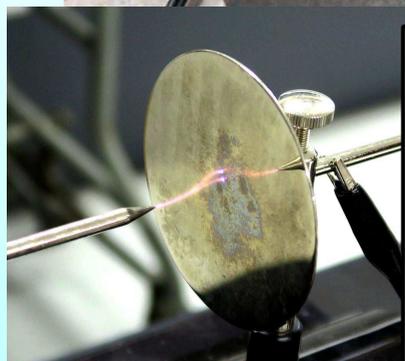
陽極

円板側が陰極、  
針状の方が陽極  
とした方が火花放電が  
起こりやすくなります。

極性切替スイッチ

放電出力

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！**



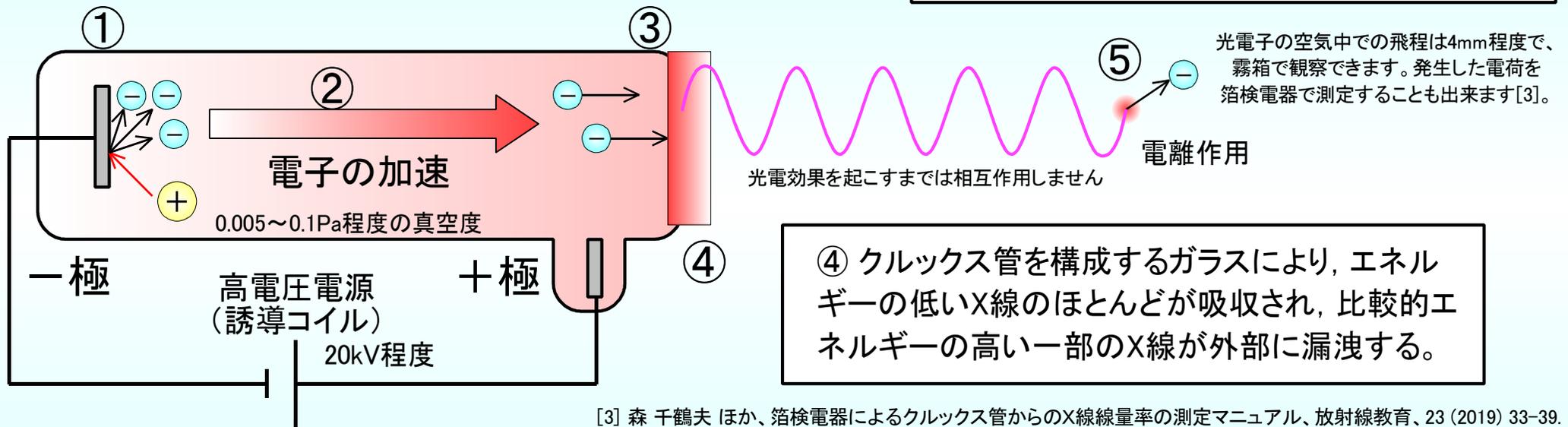
# クルックス管のしくみ

① +のイオンが一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 $\beta$ 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。

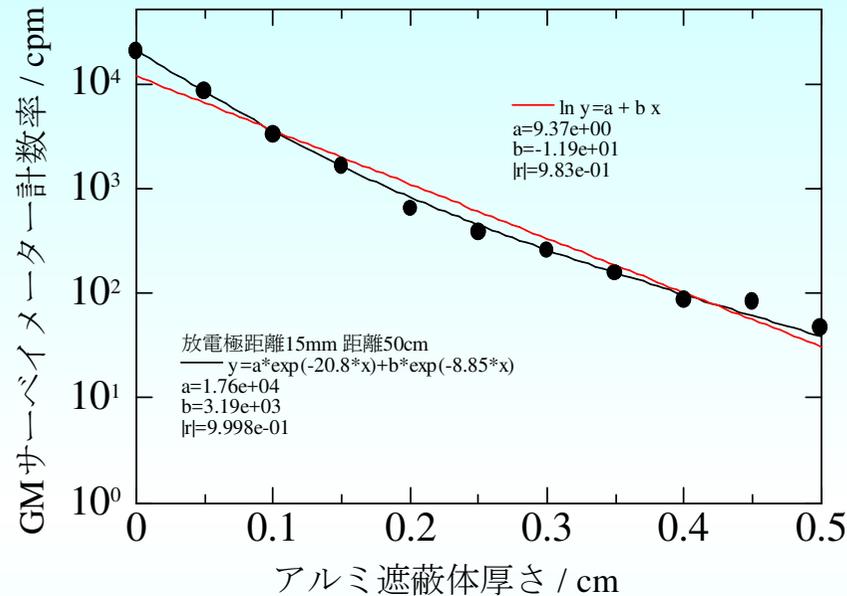
→ 20keV前後ではわずかなエネルギーの違いで透過率が大きく異なるためです (15keV→30keVで100倍大きくなる)

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**

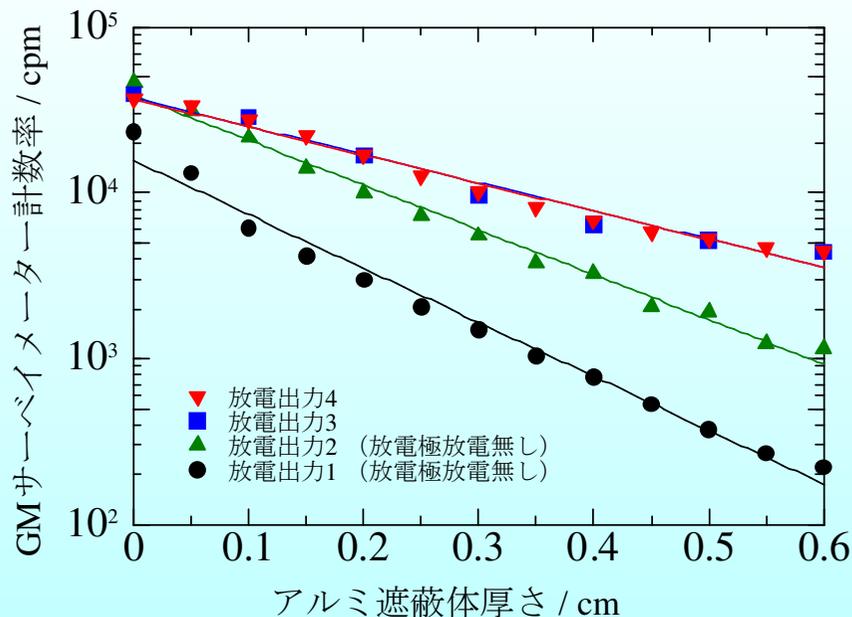
# GMサーベイメーターによるX線エネルギー評価

放電極距離15mmでの測定では、15keVの成分だけでは説明できず、20keVの成分との足し合わせで説明された。



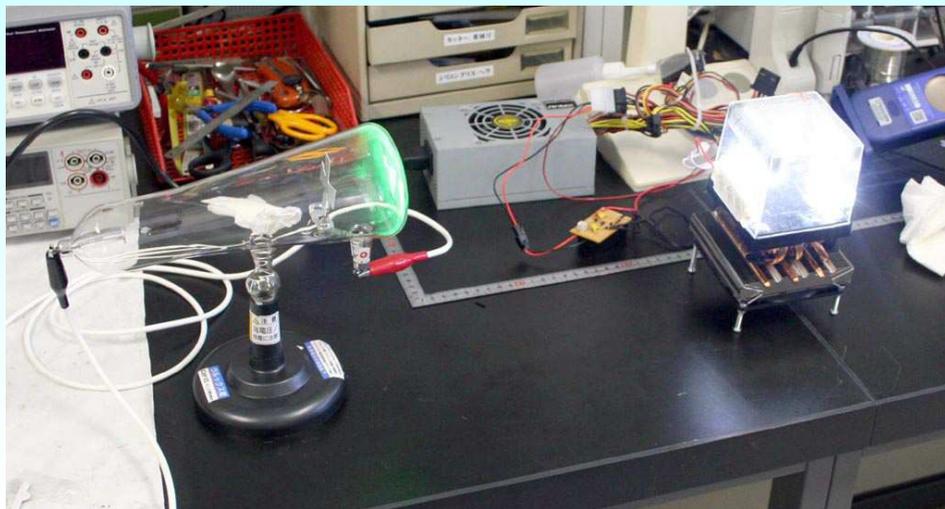
X線エネルギー (keV)	アルミ中の 線減衰係数 $\mu$ ( $\text{cm}^{-1}$ )
10	69.5
15	20.8
20	8.9
30	2.8

放電極距離は30mmで一定で、放電出力を変化させると線減衰係数が変化していき、放電極で放電が起こる出力3目盛以上で一定となった。

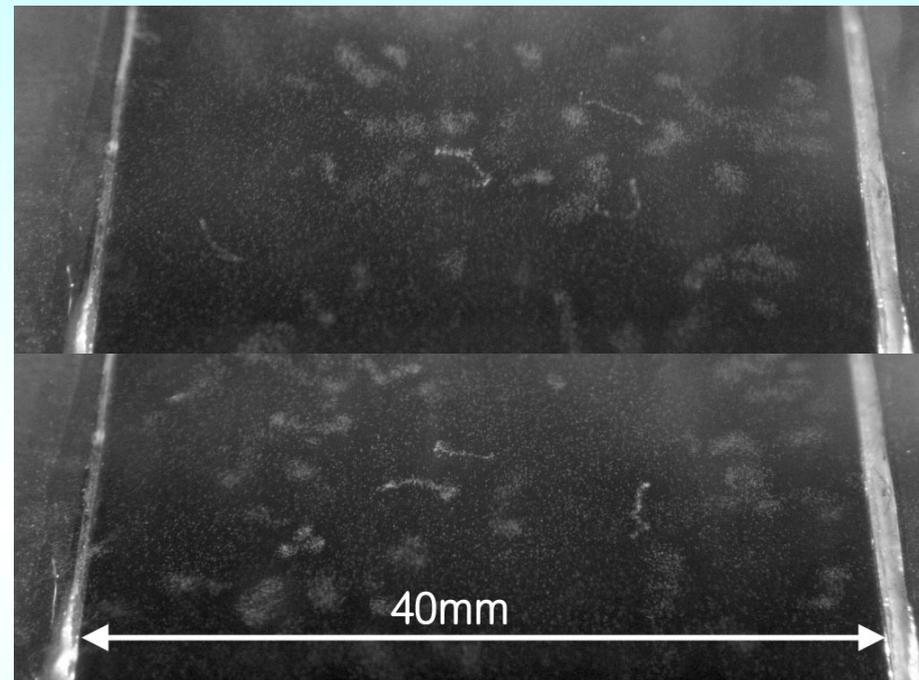


放電出力 (目盛)	線減衰係数 ( $\text{cm}^{-1}$ )
1	7.50
2	6.05
3	3.92
4	3.89

# クルックス管を利用したX線のエネルギー評価



飛跡の長さは4mm程度であり、空気中での20keV電子線の飛程6mm程度より若干短い  
→制動放射X線のピークは入射電子線エネルギーの  $\frac{2}{3}$  で、良く一致。



クルックス管からのX線によって弾き出された光電子の霧箱観察結果(放電針距離20mm)。

エネルギー既知のX線を入射して飛跡の長さのヒストグラムを作成し、エネルギーに拡がりを持つX線のスペクトルが評価できないか？

**霧箱を用いた低エネルギーX線の  
エネルギースペクトル評価の可能性**