

1) ペルチェ冷却式高性能霧箱

従来型の霧箱の問題点

- ドライアイスの準備、補給が必要で、長時間の連続展示が困難
- アルコールの補給などでチャンバーを開けると復帰まで数分かかる
- 高温型の霧箱は起動に時間がかかり、子供向けにはヤケドの危険
- 市販のペルチェ冷却型は非常に高価
- 天候などにより飛跡が観察できないことも
- α 線の飛跡が見えた、だけに留まっていた

適切な高電圧印加とチャンバー密閉度の向上により、どんな悪天候時でも確実に飛跡を観察出来ます。

本製品の特徴

- ドライアイス不要で長時間安定してクリアな飛跡の観察が可能
- α 線の飛跡の観察に加えて、 β 線の飛跡の観察も可能で、さらには γ 線により弾き出された光電子なども観察可能
- 放射線の種類による物質との相互作用の違いを直感的に学習出来る
- 市販品を使用して安価に押さえており、複数ユニット購入が容易

本製品は、大阪ニュークリアサイエンス協会を通じて販売を行っております。大学・官公庁の公費売掛にも対応しておりますので、onsa-ofc@nifty.com までお問い合わせ願います。

より詳しく本製品のことを知りたい方は、以下のウェブサイトをご覧ください。
<http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/index.htm>



ホームページQRコード



最新の SD型システム
(III期型)



最新の EX型システム
(III期型)

様々な霧箱



戸田式大型霧箱

- ・過飽和層が厚く立体的に飛ぶ飛跡が容易に観察できる
- ・極めて高価(100万円程度)で、ドライアイス、エタノールの補給を頻繁に行う必要がある
- ・天板がガラス板のため上に線源を置いての β 線の観察は出来ない。



林式霧箱

- ・極めて過飽和層が厚く、立体的に飛ぶ飛跡が容易に観察できる
- ・一般的な材料を用いて自分で製作可能であるが、比較的作業が大変。

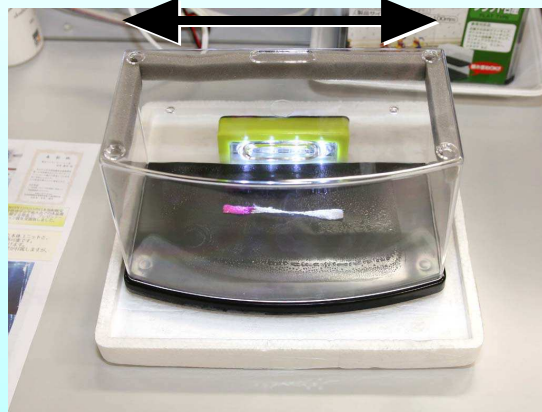
参考 https://flab.phys.nagoya-u.ac.jp/2011/wp-content/uploads/2022/04/hcloudchamber_20220411.pdf



下で使用している大型コレクションケースの底板をひっくり返した皿にエタノールを溜め、黒画用紙で吸い上げて蒸発させ、ケースで覆って周囲を丁度良い大きさの発泡スチロールの箱で覆えば、林式霧箱を非常に簡易に再現可能。ただし消毒液を使うと結露するため純エタノールを使用する必要がある。

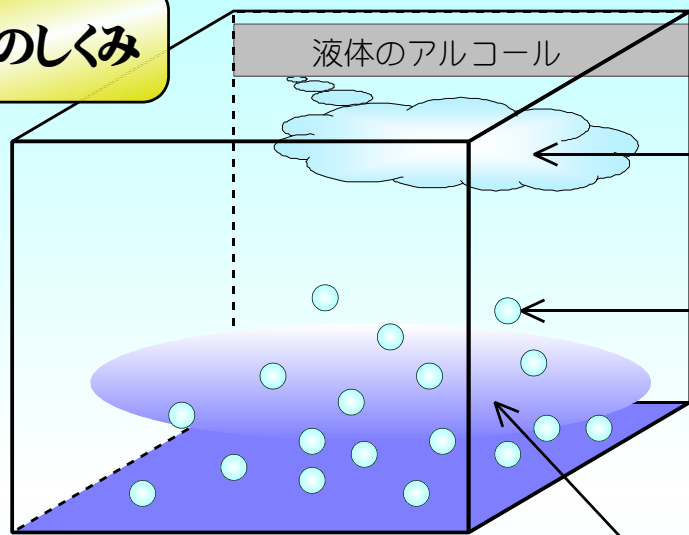


23cm



- ・ダイソーの大型コレクションケース(300円)とLED ブロックライトで製作した霧箱。
- ・ドライアイスを底面に敷き詰めることで、大面積の霧箱が極めて容易に作成可能
- ・100円の横長タイプ(約17cm)のコレクションケースでも同様に製作可能
- ・通常のコレクションケースを用いた霧箱工作は大人数でのイベントに最適。

霧箱のしくみ



温度が高いと蒸発圧が高い

アルコールの蒸気

液体のアルコールの
小さな粒

温度が低いと飽和蒸気圧が
下がり過飽和となる

ドライアイスやペルチエ素子で
-20℃以下に冷やされています

過飽和の蒸気

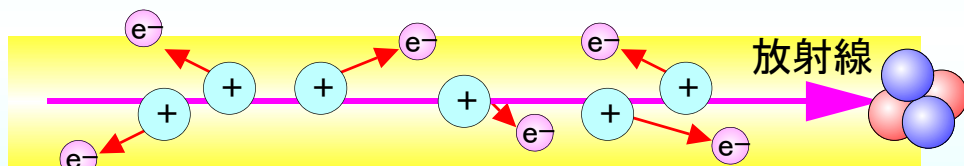
温度が低くなり飽和蒸気圧が低くなると、蒸発した気体のアルコールは液体に戻ろうとします。霧のように見える白い粒子は液体のアルコールの小さな粒です。しかし、温度が下がったのに液体の粒にならずに過飽和状態の気体も漂っています。そこに刺激を加えてやると、過飽和の蒸気は次々に液体の粒に変化していきます。

どうして白い筋の様に見えるのか？

放射線が空気中を走ると、たくさんの電子を弾き飛ばしてプラスとマイナスのイオンのペアを作ります（電離作用）。このイオンが過飽和のアルコール蒸気の中に出来ると、そこを中心核にして小さな液体の粒になります。

（アルコールは極性を持つ分子です）

この液体の粒が放射線が通った後にたくさん出来るので、白い筋として放射線の飛跡が観察されます。

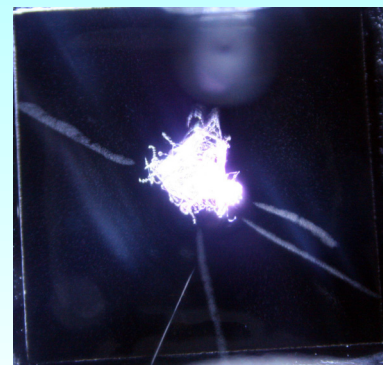


電離によるイオン対の生成

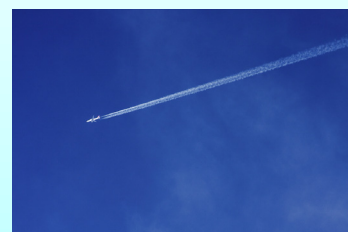
放射線として飛んで行っているα粒子や電子は小さすぎてとても目では見られませんが、MeVエネルギーの粒子の速度は超高速カメラでも追いつきません。

しかし、飛んでいった跡が残って、目で見えるのです。

これは、空の上の飛行機雲と同じです。飛行機が飛んでいった後にもしばらく飛行機雲が残っているのを見ることができます。飛行機雲は、空の上の寒いところで過飽和になった水蒸気が、飛行機のエンジンから出てきた排気ガスなどが刺激になって小さな液体の水の粒、つまり雲になった物です。

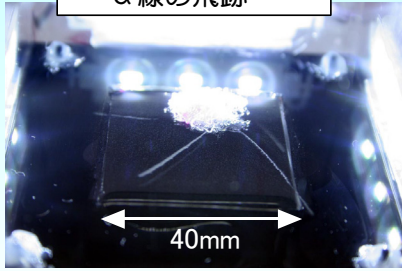


過飽和の蒸気は冷やされている容器の底に薄く広がっているだけなので、底に平行に走った放射線しか見ることができません。また液体の粒はすぐ蒸発してしまって、数秒で見えなくなってしまいます。



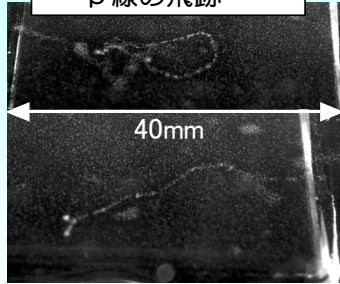
放射線の種類による影響の違い

α線の飛跡



はっきりした直線的な飛跡です。空气中を数cm飛んただけで止まってしまいます。

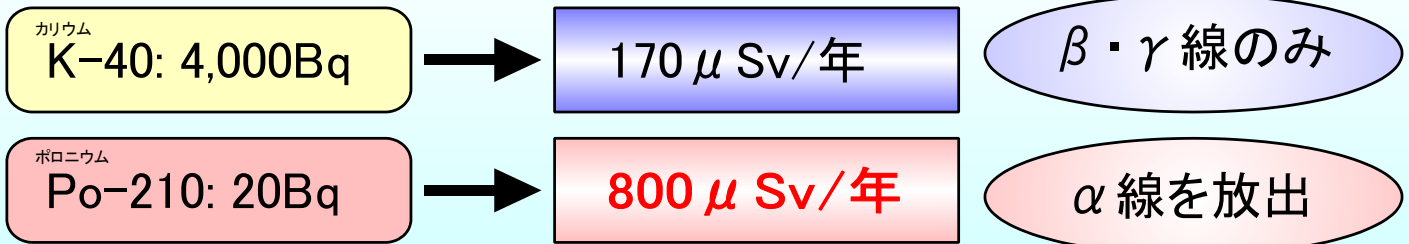
β線の飛跡



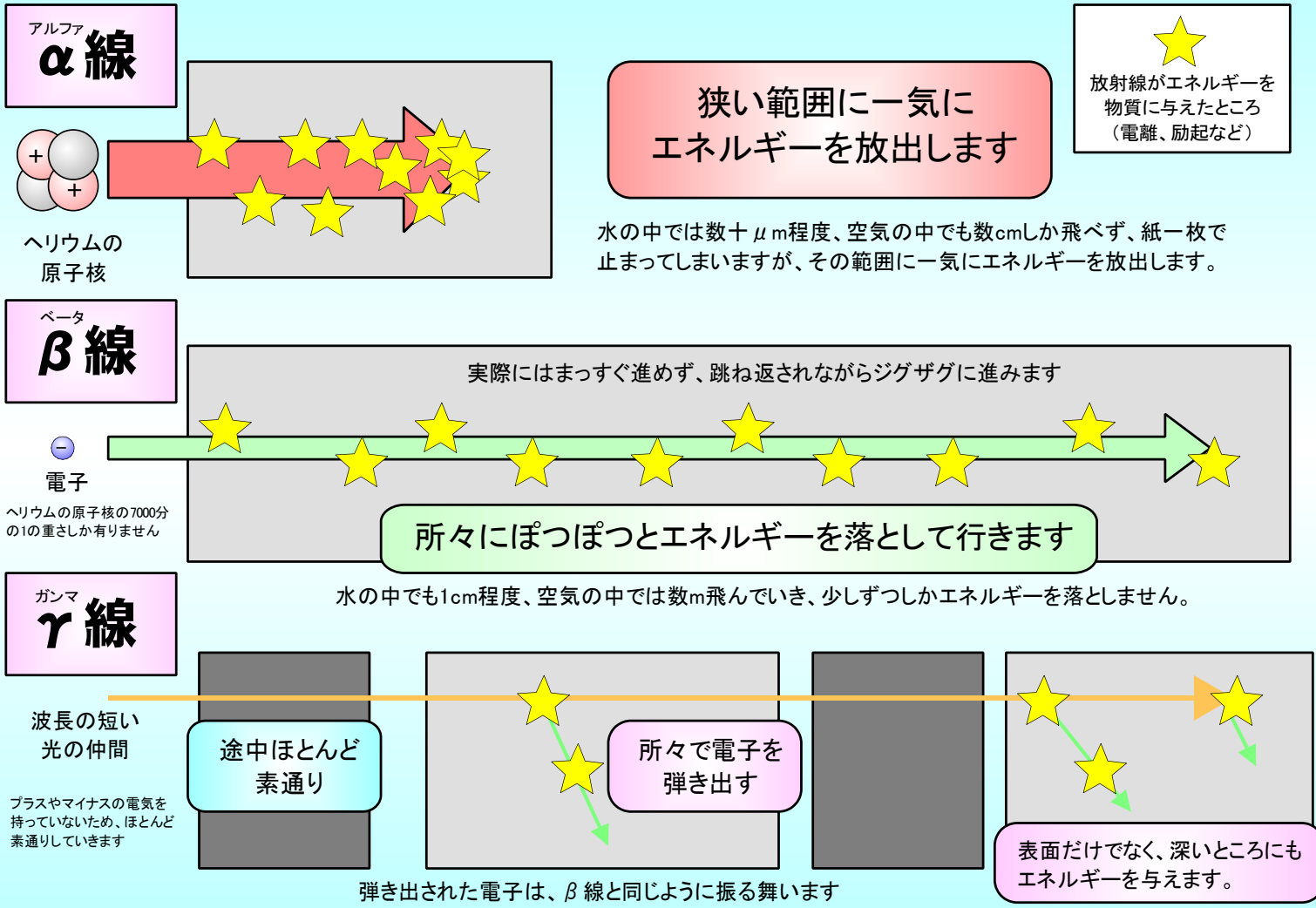
糸くずのようなうっすらとした、曲がりくねった飛跡を残します。よく見ないと、見ることができません。

α線は紙一枚で止まってしまうほど透過力は弱く、皮膚で止められますが、元々のエネルギーが弱い訳ではありません。逆に短い距離で一気にエネルギーを放出するため、α線が体の中で放出された場合（内部被ばく）は、集中的にDNAを傷つけるため大変危険です。β線はα線よりもずっと長い距離を飛んで、少しずつエネルギーを落としていきます。なので、β線の飛跡はうっすらとしか見えないのです。γ線は非常に透過力が強いですが、逆に言えばほとんど素通りしていきます。体の中奥深くで時々電子を弾き出して、最終的にはβ線と同じような作用を示します。どのような種類、エネルギーの放射線を放出するかは、放射性物質の種類（核種と言います）によって決まっています。

体内の放射能 *体重60kgの日本人 年間に被ばくする実効線量



わずか 20Bq の Po (ポロニウム) -210 からのα線の影響は、4000Bq の K (カリウム) -40 よりも大きいのです。100Bq を肺に吸入した場合、Pu (プルトニウム) -239 の場合 12mSv も被ばくすることになりますが、Cs (セシウム) -137 では 3.9μSvにしかならず、3000倍以上影響が異なります。トリチウム (H-3) に至っては 10万分の 2.6μSv のみと、同じベクレルの放射能でも体へ与える影響は全く異なります。このように、ベクレルだけでは体へのダメージ (シーベルト) は簡単には分かりません。



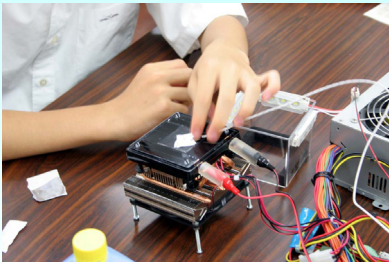
実習メニューの例

40分程度で実施可能な、ペルチェ冷却式高性能霧箱を用いた実習の例です。
4人で1班程度での実習となります。
ただ単に飛跡が見えた、に留まらない、「電離作用」という放射線の本質を理解できる内容となっています。

ペルチェ冷却式高性能霧箱による α 、 β 、 γ 線の観察メニュー

- 1) 熱電対を用いたペルチェ素子表面温度の測定
- 2) 空の霧箱中の液滴の観察
- 3) α 線の観察
- 4) β 線の観察
- 5) γ 線、X線からの光電子の観察
- 6) 霧箱の原理、 α 線、 β 線、 γ 線の物質との相互作用との違いと、生体影響の違いを説明

1) 熱電対を用いたペルチェ素子表面温度の測定



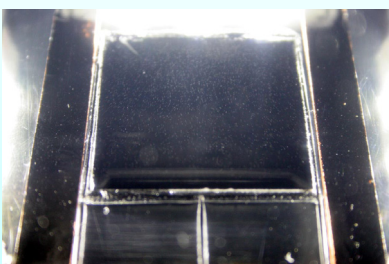
アルミテープによる熱電対の素子表面への貼付け



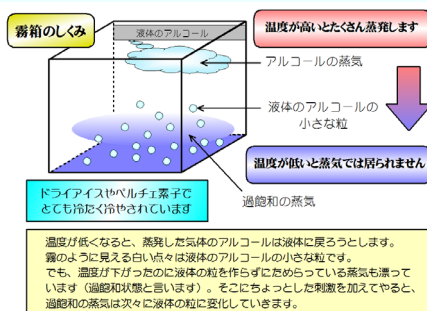
素子上面が冷やされる半面、裏面に放熱しているのを体感

- ・熱電対式のデジタル温度計により霧箱表面温度(-30℃程度)を測定する。
- ・熱電対は温度差があると電流が流れる、ゼーベック効果を利用している。
- ・ペルチェ素子は逆に電流を流すと温度差が発生するペルチェ効果を利用している。熱を吸収している訳ではなく裏面に輸送している点に注意。
- ・点接触では正確な温度測定は出来ず、アルミテープでしっかりと熱接触を取って測定する必要がある。

2) 空の霧箱中の液滴の観察



正常な状態の霧の状態。極端に悪天候下では霧の量が多くなり観察できない。

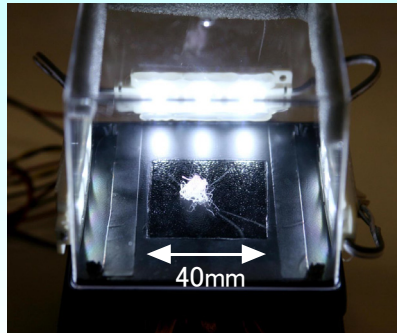


- ・スポンジテープヘタノール(IPA入りの消毒液で構わない)を注入してチャンバーを閉じ電源を入れる。
- ・アルコールの気体が冷やされることにより過飽和蒸気となり、空気中の雑イオンなどに過飽和のアルコール分子が集まって核生成したものが、霧状の液滴として観察できる。
- ・時々、空気中のラドン娘核種からの α 線などのバックグラウンドの放射線が観察される。
- ・ポリパックに入れたマントル線源からは α 線は放出されず、ビニール一枚で遮蔽されていることが確認できる。

3) α 線の観察

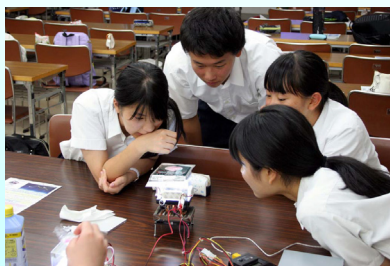


飛跡観察の様子

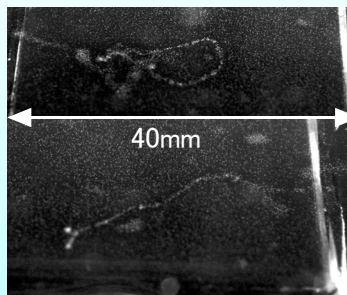


- ・ポリパックからマントルをとりだしてチャンバー内に設置し、 α 線の飛跡を観察する。
- ・飛行機雲と同じく、粒子自体は見えなくても飛跡が見えている。
- ・空気中での飛程は最大でも7cm程度。
- ・はっきりと、直線的に飛ぶ。
- ・上下方向にも飛んでいるが、過飽和蒸気が薄い層状になっているため水平方向に飛んだ α 線だけが観測できている。

4) β 線の観察



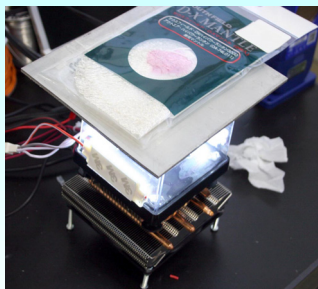
チャンバー天板の上にマントル線源を置いての β 線飛跡観察の様子。



折れ曲がったり、分岐したりもする β 線の飛跡

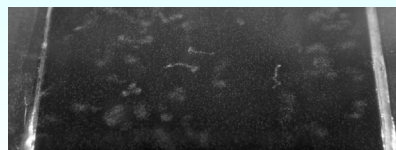
- ・チャンバー天板の上にマントル線源をのせることで β 線の観察を行う。
- ・ α 線は天板のプラスチックを透過できないが、 β 線は薄いプラスチック程度は透過できる上に、非常に軽く(α 線の7000分の1)散乱されやすいので、上から入射しても空気や素子表面で散乱されて素子に平行に走る電子線が観察できる。
- ・相互作用は α 線よりもずっと小さく、うすすらとしか観察されないが、飛程は空気中で数m程度有る。
- ・素子表面に平行に走っている間にも散乱されて糸くずのように曲がりくねる様子が観察できる。

5) γ 線、X線からの光電子の観察



アルミ板で β 線も遮蔽してしまうことにより γ 線だけを観察できる。 γ 線はほとんど素通りしてしまうため、観察できる頻度は小さい。

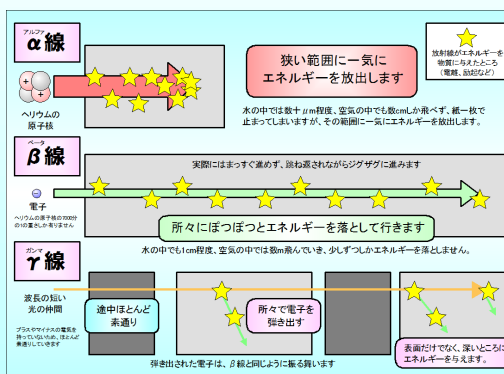
入射電子線のエネルギー E (MeV),
最大飛程 R (g/cm²) とすると、
 $R = 0.542 E - 0.133$ (0.8 MeV < E)
ウラン系列核種からの β 線のアルミ中での最大飛程は、Bi-214 からの 3.27 MeV β 線による 6.1 mm。



クルックス管からのX線により放出された光電子の飛跡

- ・アルミ板をマントル線源とチャンバー天板の間に入れて β 線を遮蔽し、 γ 線のみをチャンバー内に入射する。
- ・非常にイベント数は落ちるが、 γ 線によって放出された光電子の飛跡が観察される。
- ・クルックス管などを用いてX線を発生させても、同様に光電子が観察できる。クルックス管からのX線はエネルギーが低いため、飛程が短いことも観察できる。
- ・見た目は β 線と同様であり、 γ 線、X線が最終的には β 線と同じような作用を示すことが分かる。
- ・さらに、放射線の本質が、電子を叩き出す「電離」作用であることを直感的に理解できる。

6) α 線、 β 線、 γ 線の物質との相互作用との違いと、生体影響の違いを説明



放射線加重係数の説明

実効線量(Sv) = 吸収線量(Gy) × 放射線加重係数 × 組織加重係数
→ α 線: 20, β , γ 線: 1

この相互作用の違いから直感的に理解

体内の放射能 (体重60kgの日本人) 年間に被ばくする実効線量

K-40: 4.000Bq	→	170 μ Sv/年	(β ・ γ 線のみ)
Po-210: 20Bq	→	800 μ Sv/年	(α 線を放出)

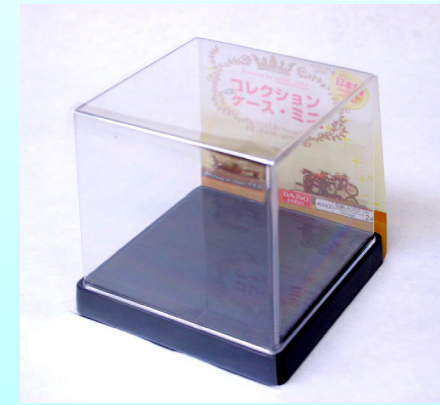
空気中のラドン同位体も α 線を放出 → 世界平均で 1.26mSv/年
日本は木造建築が多く比較的被ばく量は少ない(0.48mSv/年)

※それぞれ線量換算係数、組織加重係数なども異なる

- ・ α 線、 β 線、 γ 線それぞれ物質との相互作用が異なり、それによって霧箱での見え方が異なる。
- ・何発出たかのベクレルだけでは生体影響は評価できない。 α β γ の種類の違いやエネルギーの違いも考えなくてはならない。

2) 極めて簡易、安価で確実、高性能な霧箱工作

- ・ダイソーのコレクションケースを使用した霧箱工作
 - ・ポリスチレン製でアルコールに侵されない
 - ・台座が黒く紙などを敷く必要がなく、薄いため短時間で冷却される
 - ・工作は実質スポンジテープを貼るだけ。
短く切っているので貼付けも容易で、説明を除くと15分かからない
 - ・アルコール注入もスポイトを使う必要がない
 - ・確実に全員飛跡を観察できた
- ・極めて安易、高性能、低価格で入手性にも優れており、今後の霧箱製作の標準とすることでノウハウの共有も行う事が出来る。



3) UVレジンを用いたアクセサリー工作

- 放射線重合の説明の一環としてUVレジン硬化の実演を実施
- 赤外線、可視光線からX線、 γ 線に続く電磁波の一つとして紫外線を説明
- 手芸コーナーでUVレジンによるアクセサリー工作は人気のジャンル
- Amazon, 100均ショップなどでも必要な資材が容易に入手可能
UVランプはネイル用のものが3000円程度で入手可能。



X線、γ線、電子線 などの放射線

シンナーなどの薬品を使わないので、
体と環境に優しいよ!



グラフト
(接ぎ木)
重合

放射線
の力で刺激を
与えます (励起)

バラバラの分子

重合

刺激された分子は、お互いに
くっついて、高分子の固体に
なります

中まであっという
間に固まるよ!

高分子の枝がによきによき
伸びていきます



UVレジン液



UVレジンを使ったアクセサリー

伸ばした枝の性質を上手くコントロ
ールすると、海水中の金属を集めるよ
うな機能を持った高分子を作ることが出
来ます。

UVレジンはX線やγ線よりも
エネルギーの低い、紫外線でも
重合して固体に変わります。

UVレジンを使って、オリジナル
アクセサリーを作ってみよう!

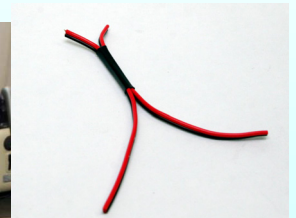
海の中のお宝を取り出せるかも?!



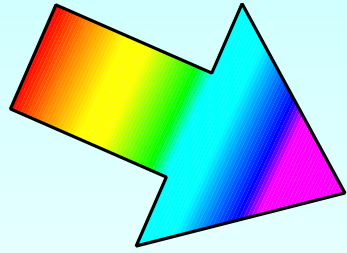
目に見える光じゃ固まらないよ!

4) 耐熱電線と熱収縮チューブの加熱の実演

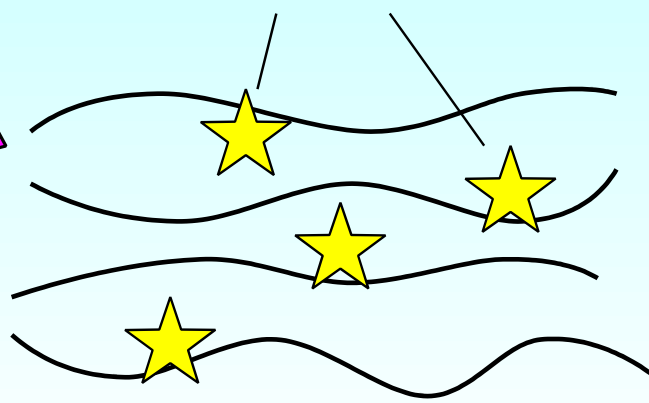
- ・放射線による架橋で強化された材料の実例として、耐熱電線に熱収縮チューブをかけてドライヤーでシュリンクさせる実演を行った
- ・株式会社サンルックスより市販されている、放射線橋かけ技術を活用した形状記憶樹脂の実演も行った。
- ・東洋タイヤ製のタイヤ現物の展示も行った。照射前の生ゴムもあると説得力があるか



X線、 γ 線、電子線 などの放射線

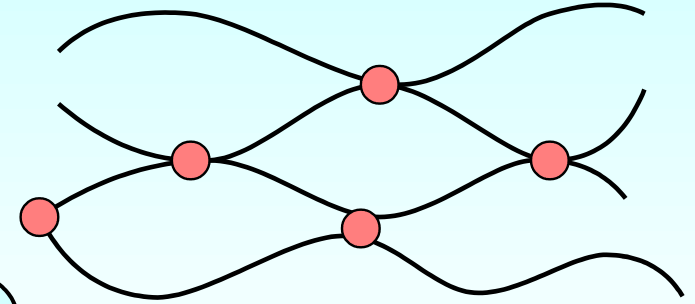
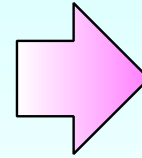


放射線の力で刺激を与えます(励起)



お互いに連結されていない
長い高分子の鎖

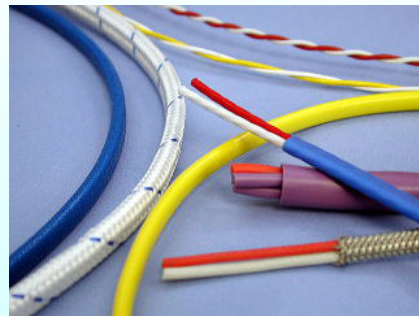
刺激されたところがお互いにくっついて、
網目状になり、強い高分子になります



橋かけ



タイヤのゴムは、放射線
で架橋することで引
っぱり強度などを高め
ています。



電線の被覆材も、放射
線で架橋することで熱
に強くしています。

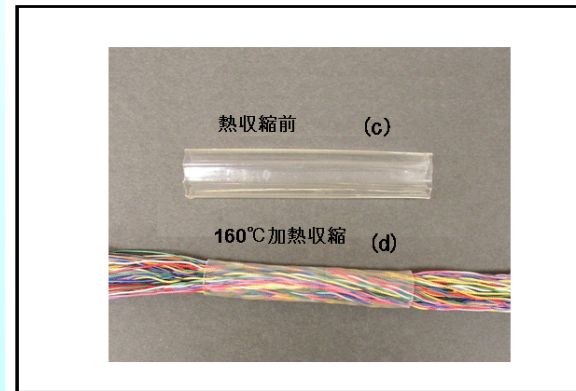
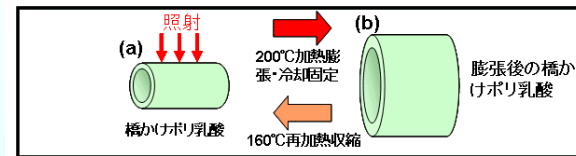


図8 橋かけポリ乳酸による熱収縮チューブ

[出典]長澤尚胤、吉井文男:デンブから開発した透明な耐熱型生分解性熱収縮材、プラスチック、57(No.2)、56-59(2006)

熱収縮チューブは、放射線
で架橋して強くしたあとに
引っ張って伸ばしていますが、
ドライヤーで暖めると縮
んで元に戻ろうとします。

電線をハンダ付けした後、
絶縁するためのチューブと
して利用されています。

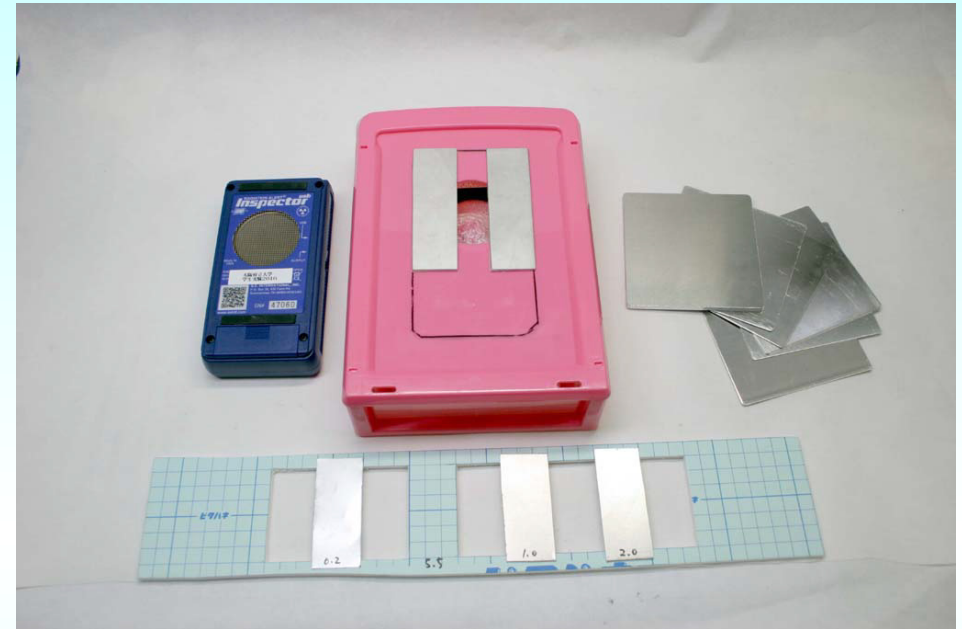
5) 放射線検出器を用いた宝探しゲーム

- ・平たい薄い箱の中にラジウムボールをポリパックに入れ、宝の地図を印刷したフタをして、 β 線を検出可能なサーベイメーターで探させる
- ・目に見えない物を探せる、少し離れると測れない、自然放射線が気まぐれに来るなど、色々な要素を学習可能
- ・ラジウムボールの数で難易度調整が可能
- ・大学生レベルでも、汚染検査の模擬として使用出来る

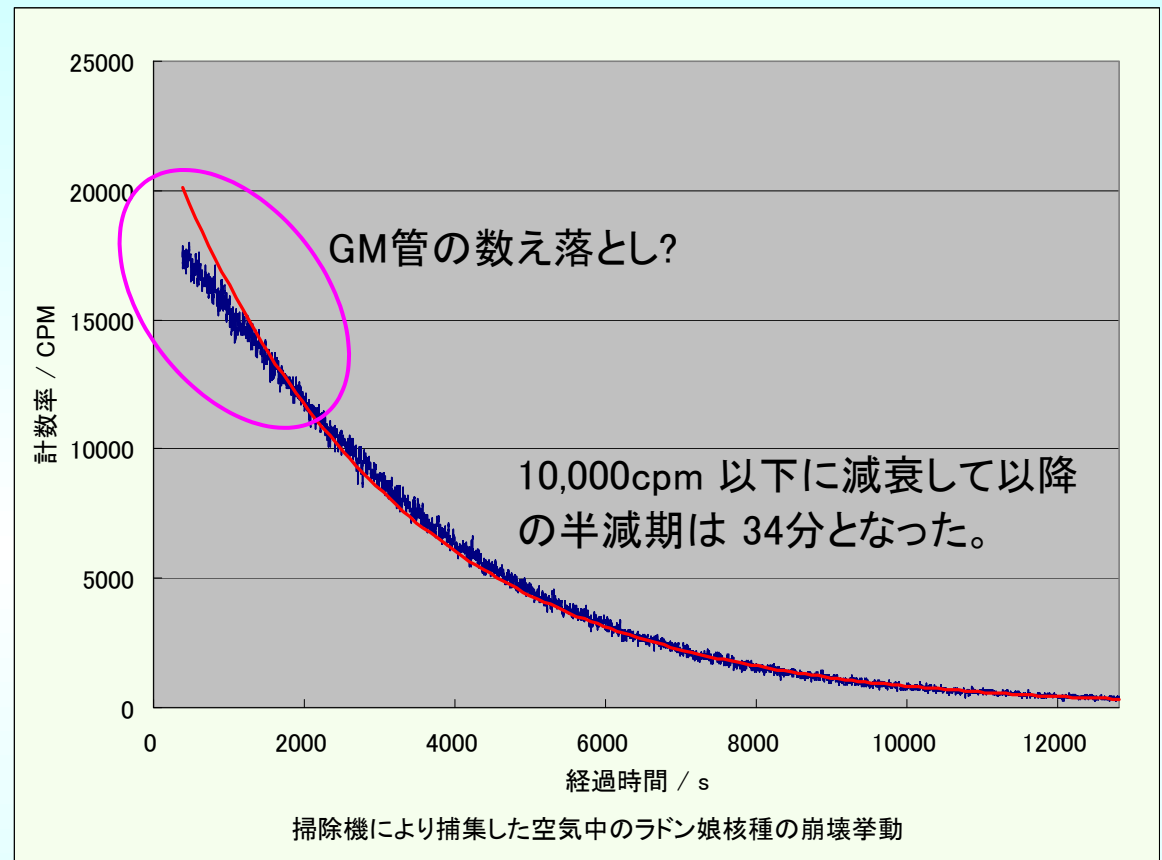


6) 非破壊検査/厚さ計/密度計 の模擬

- ・インスペクターUSB GMサーベイメーターを用いた計数率変化の測定システムを開発
- ・複数の厚さのAI板を並べた試料板をゆっくりスキャンすることで、見えない部分の内部が見える非破壊検査と、測定対象の厚さが分かる厚さ計、もしくは材質・密度の違いが分かる密度計の模擬となる。



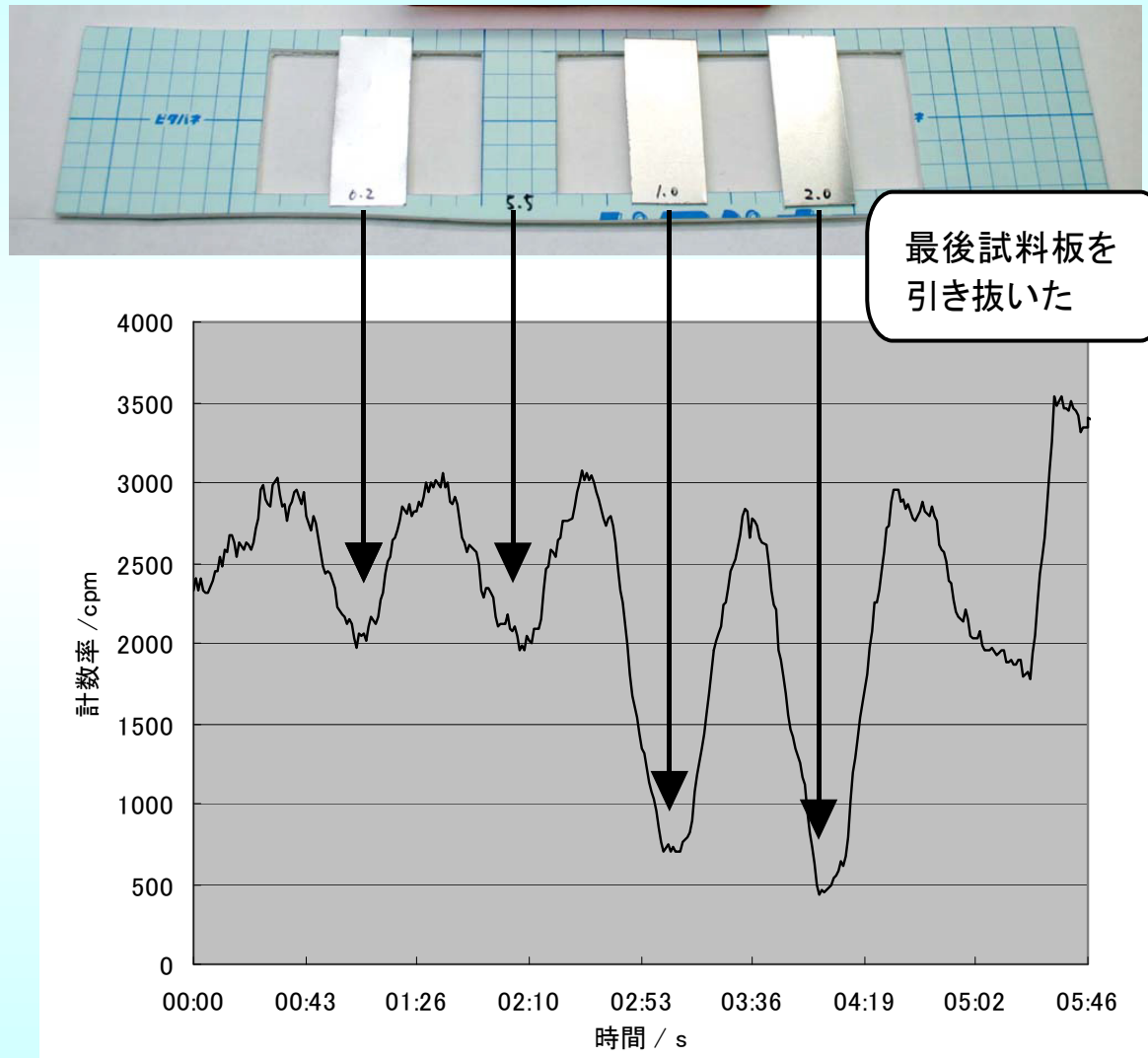
空気中のラドン娘核種の崩壊挙動



半減期30-40分程度で授業時間内での減衰挙動の評価が可能であり、最も身近でかつ強力な線源として使用が可能。多くの方がエアダストサンプラーの模倣から目の詰まったろ紙のようなフィルターを使用しているが極めて効率が悪く、ベンコットのようなガーゼを利用することで5分程度で十分な強度の線源を捕集可能。

極めて条件がよい場合、インスペクターUSBで 17,000cpm 越えという、マントル線源に匹敵する強度の線源を作り出すことも可能である。

試料板の移動に伴う計数率の変化



10秒で1cm移動、3cmごとに試料、
ブランクと繰り返している

測定しているのはほとんどが β 線であり、試料の厚さの変化で明確に計数率が変化している。

試料の位置分解能を高めるために2cm幅でコリメートしているが、線源が強ければウインドウ幅を狭くすることで位置分解能の向上は可能。

マントル線源を用いた簡易なシステムではこの程度で十分であるが、線源との距離を近づけることでもう少し計数率を上げることは可能。

この教材から得られる知見

目に見えなくても試料板があるところでは計数率が変化して、その存在を知ることが出来る

**放射線透過検査
の原理**

厚さの異なる試料では
計数率が異なる

厚さ計の原理

密度が異なる試料では
計数率が異なる

密度計の原理