

**2015/12/02 放射線安全管理学会 14回大会
於 筑波大学 大学会館 1A2-2**

**高性能ペルチェ冷却霧箱を使用した
放射線教育プログラム**

**大阪府立大学 放射線研究センター
秋吉 優史**

従来型の霧箱の問題点

- ・直感的に放射線の存在を知ることが出来る霧箱は、教育的効果が大変大きい
- ・ドライアイスを用いた霧箱教室は各地のオープンスクールなどで大変人気がある

問題点

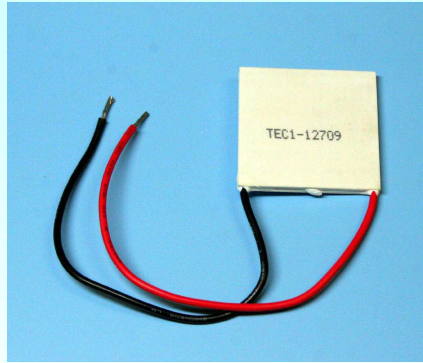
- ・ドライアイスの準備、補給が必要
- ・アルコールの補給などでチャンバーを開けると復帰まで数分かかる
- ・高温型の霧箱は起動に時間がかかり、子供向けにはヤケドの危険
- ・天候などにより飛跡が観察できないことも
- ・ α 線の飛跡が見えた、だけに留まっていた

高性能ペルチェ霧箱の特徴

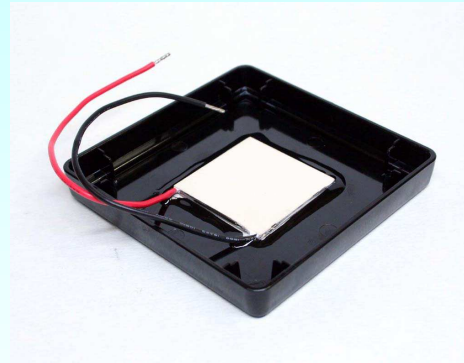
- ・そこでペルチェ素子を使用した高性能霧箱の開発を行った
 - ・長時間安定してクリアな飛跡の観察が可能
 - ・ α 線の飛跡の観察に加えて、 β 線の飛跡の観察も可能
 - ・さらには γ 線により弾き出された光電子なども観察可能
 - ・これにより、放射線の種類による物質との相互作用の違いを直感的に学習出来る
 - ・民生品を使用して安価に押さえており、複数ユニット設置可能
- ・雑イオン除去のために高電圧の発生を行うが、仕組みは加速器そのもの
- ・ペルチェ素子、熱電対、ヒートパイプや熱伝導グリースを含めた物質の熱伝導、蒸気圧と過飽和・核生成、電離とイオン化など様々な工学要素が含まれている

◎これらを含めた放射線教育プログラムを提唱する

高性能ペルチェ霧箱の製作 (1)



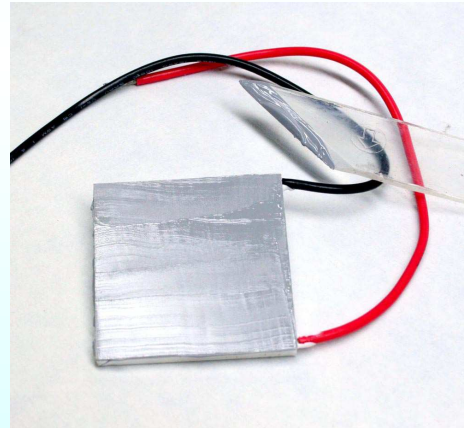
ペルチェ素子は Amazon などでも一般的に販売されている商品 (TEC1-12709) を使用する。30mm角の大きさで、結露水に対する防水加工済のものを一枚800円程度で入手可能



コレクションケースの黒い台座中央にペルチェ素子の大きさ(30×30mm)に合わせた穴を開け、UVレジン素子と穴の間に流し込み、紫外線に当てて硬化させる。素子の冷却面側を上側にする。



ヒートパイプ4本を用いてCPUヘッド、ヒートシンク、ファンがコンパクトにまとめられている Scythe 虎徹 SC-KTT-1000 をペルチェ素子からの廃熱処理に使用。シリコングリス、リテンションパーツも付属しており、これらをそのまま活用することが出来る。



ペルチェ素子とCPUヘッドに熱伝導グリスを塗り込む。丁寧に、均一に薄く塗り伸ばすこと。マウントした素子とCPUヘッドの間にもう一枚ペルチェ素子を挟み込み、二段重ねにする。

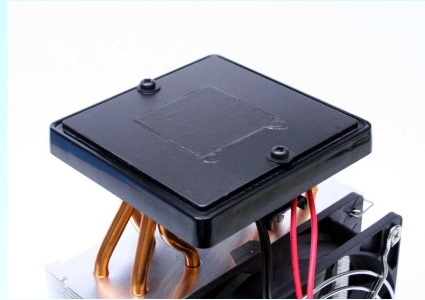
続いて、台座をCPUクーラーヘッドに固定するために、直線状のリテンションパーツと、別途M5×30mm程度のネジとナット、ワッシャーを使用して、クランプ状にCPUヘッドの裏と台座を挟み込む。



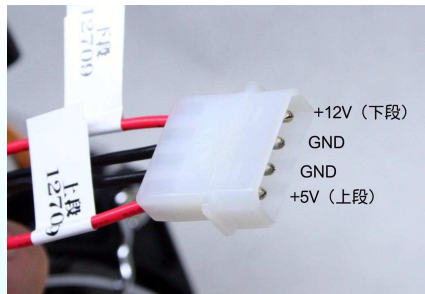
チャンバーとしてダイソーのコレクションケースが非常に優れている。ドライアイスで冷やせばほぼそのまま霧箱になる。



高性能ペルチェ霧箱の製作 (2)



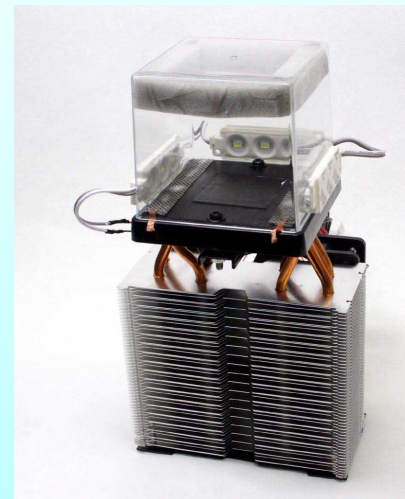
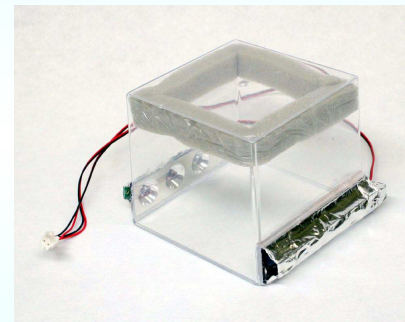
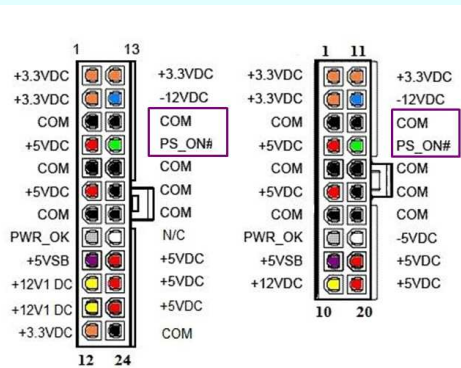
塗装する前に、アルコールなどで表面をしっかりと脱脂して、素子の表面を黒く塗装する。通常のラッカースプレーではわずかにアルコールに侵されるため、アサヒペン 高耐久性ラッカーか、ウレタン塗料を使用すること。



素子からの導線を、PC用のATX電源から出ているペリフェラル電源コネクタ(大)に接続できるようにする。

上段の素子を+5V(電源からの赤い線)、下段の素子を+12V(電源からの黄色い線)に繋げるようにする。

なお、ATX電源はマザーボードに接続するコネクタのPS_ONをGNDに落とさないと起動しないようになっているため、ショートピンを入れてやること。



コレクションケースの上部に照明を取り付けます。安価に作る場合ダイソーの4LEDタッチライトブロックを使用すると良い。単4電池3本で動作するが、5Vの直流電源でも動作する。より高性能な物を目指す場合は12VタイプのSMD 5730 3-LEDモジュールなどを使用する。抵抗などもモジュールに組み込まれており、そのままATX電源に繋ぐだけで使用することが出来る。

次いで、ケースの上部にスポンジテープを貼付ける。出来るだけ上に張付けると良いが、厳密ではない。

なお、アクリルは徐々にエタノールに侵されひび割れてしまうが、このコレクションケースはポリスチレン製のため、全く問題無い。

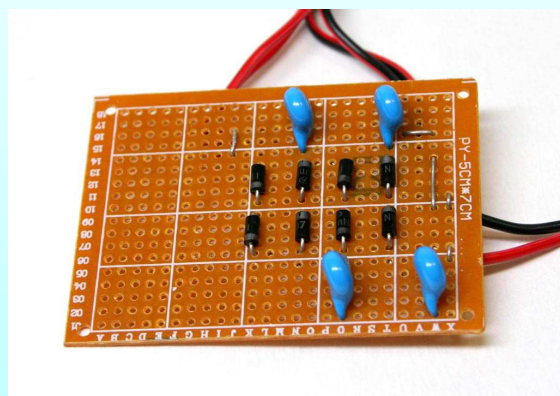
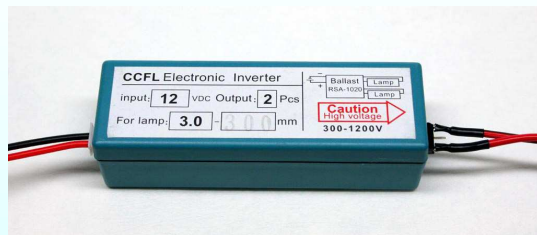
高性能ペルチェ霧箱の製作 (3)



悪天候時など雑イオンのために α 線の飛跡すらも観察しにくいことがある。

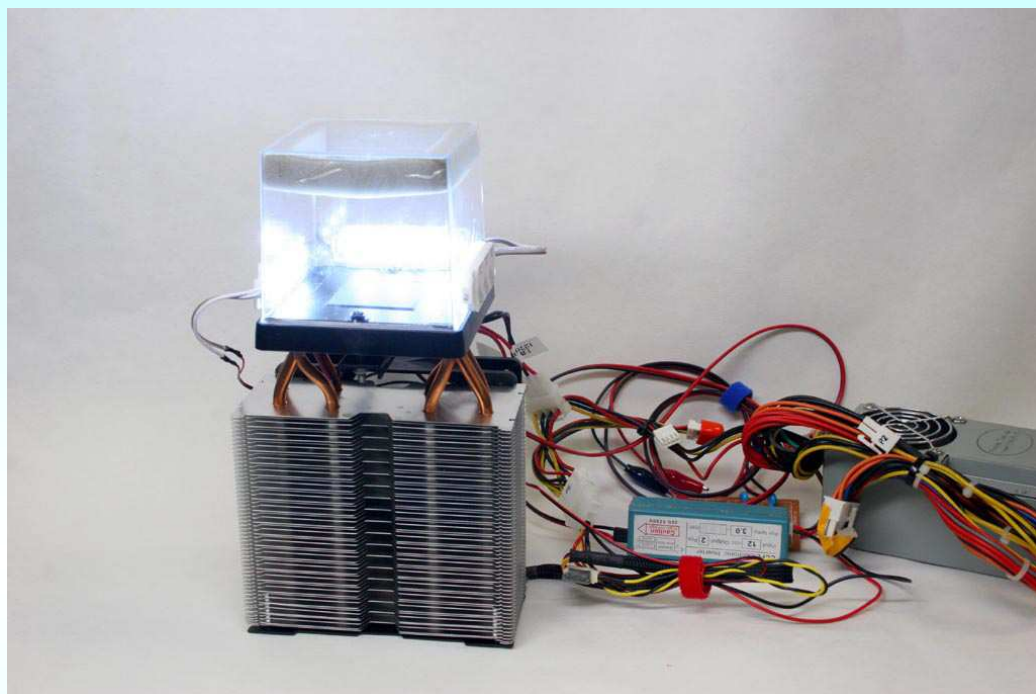
→ この状態では、 β 線はほとんど観察することが出来ない。

この雑イオンの除去のために、高電圧を印加する。簡単には、摩擦により静電気を生成しても良いが、悪天候時にはその静電気も発生しにくい。



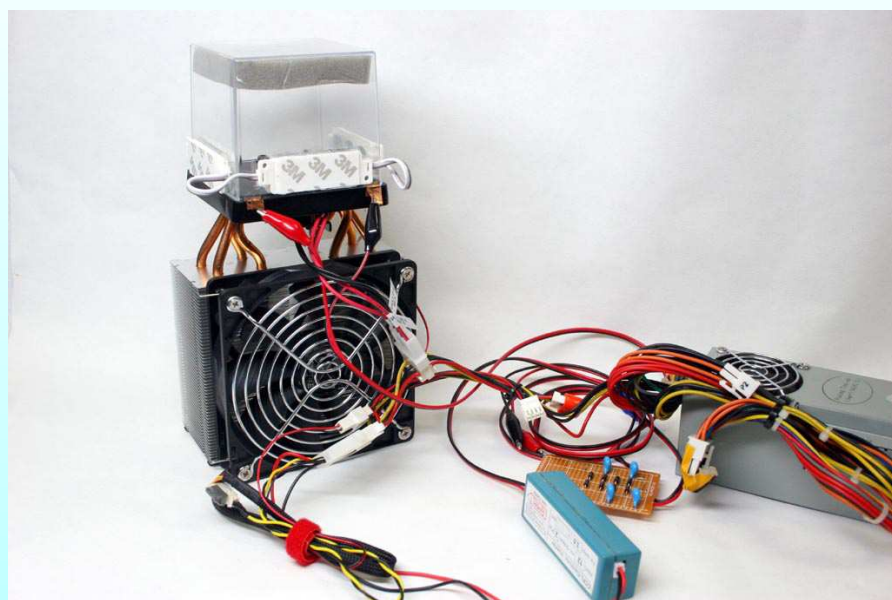
- ・バンデグラフ起電機とライデン瓶の組み合わせ
 - ・インバータ回路とコッククロフト回路を組み合わせた高電圧発生回路
- で、雑イオンを除去すると良い。
これらの高電圧発生器で加速器の原理も学習できる。
電極は、アルミテープなどを使用すると便利である。

高性能ペルチェ霧箱完成品



- ・ペルチェ素子
- ・LED光源
- ・CPUファン
- ・高圧電源

への電源供給のため配線を工夫する必要がある。
高圧電源は触ると痛いので絶縁などの工夫が必要。



アルコールとして試薬用のエタノールでなくても、消毒用の物で十分。イソプロピルアルコールが入っている物もあるが、むしろイソプロピルアルコールの方が観察には適している。

β 線観察時は、線源をチャンバーの上に置いて観察すると良い。上から入射しても β 線は散乱されるため底面に平行に走る電子が観察される。

線源について

線源は、良く知られているようにトリウムを含んだランタン用のマントルが、容易に入手できる物の中では最も強い。Captain Stag M-7909 が有名であったがアスベストが含有されていたためにリコールとなり交換品 UF-5 にはトリウムが含まれていない。

現在手に入るトリウム含有マントルとして、サウスフィールド SF-2000MT と D-X ハイパワーマントルなどがある。(SF 200MT には含まれていないので注意)

次に入手しやすいのは、ラジウムセラミックボールで、マントルよりはやや弱いだが α 線の飛跡は十分観察可能。

α 線源として最も適しているのは、空気中のラドン娘核種を掃除機で捕集したもので、どこでも調達可能、使い終わったら消える、身近に放射能が飛んでいることを実感できるなどメリットが大きい。

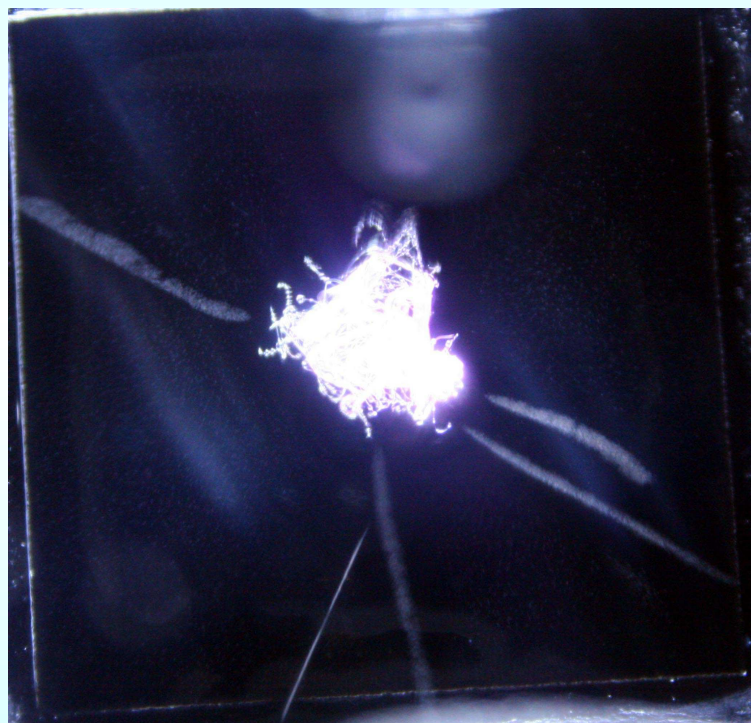
オープンスクールや授業など、限られたスペース、時間で捕集を行う場合は、超静音型の Electrolux 社製の エルゴスリーマルチフロアという製品が適している。なお、捕集を行う際にろ紙のような目の詰まったフィルターを用いると、非常に効率が悪いので、ベンコットなどのようなガーゼを使用すること。

残念ながら β 線源として使用するには、地下室などかなり条件が良くないと難しいためマントルなどと併用すると良い。



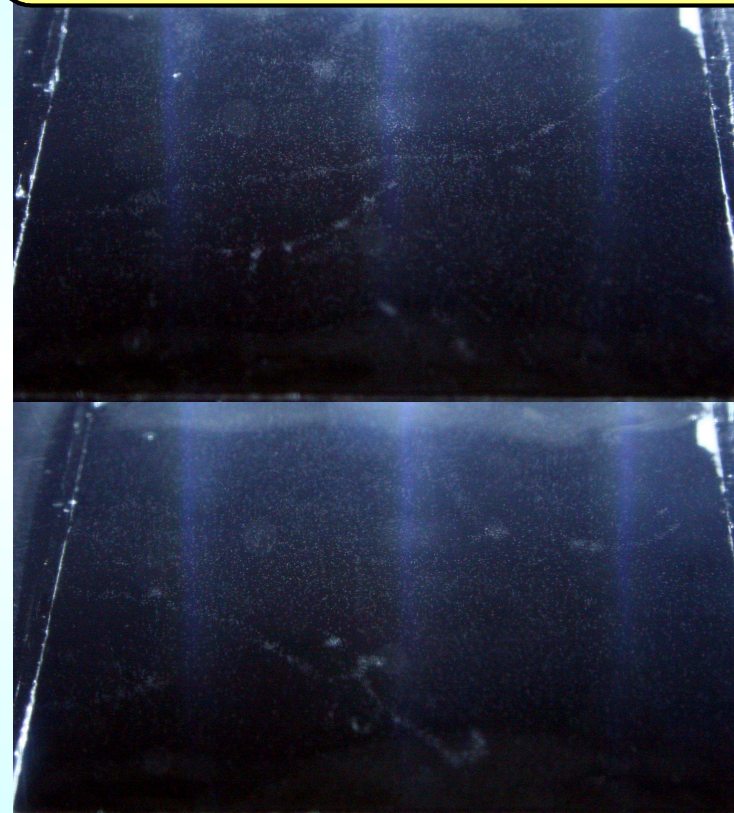
霧箱での飛跡の観察

α 線の飛跡



直線的ではっきりとした飛跡を示す。気流の関係で生成した霧がたなびく事で曲がって見えることがあるが、散乱や磁石による偏向ではない。

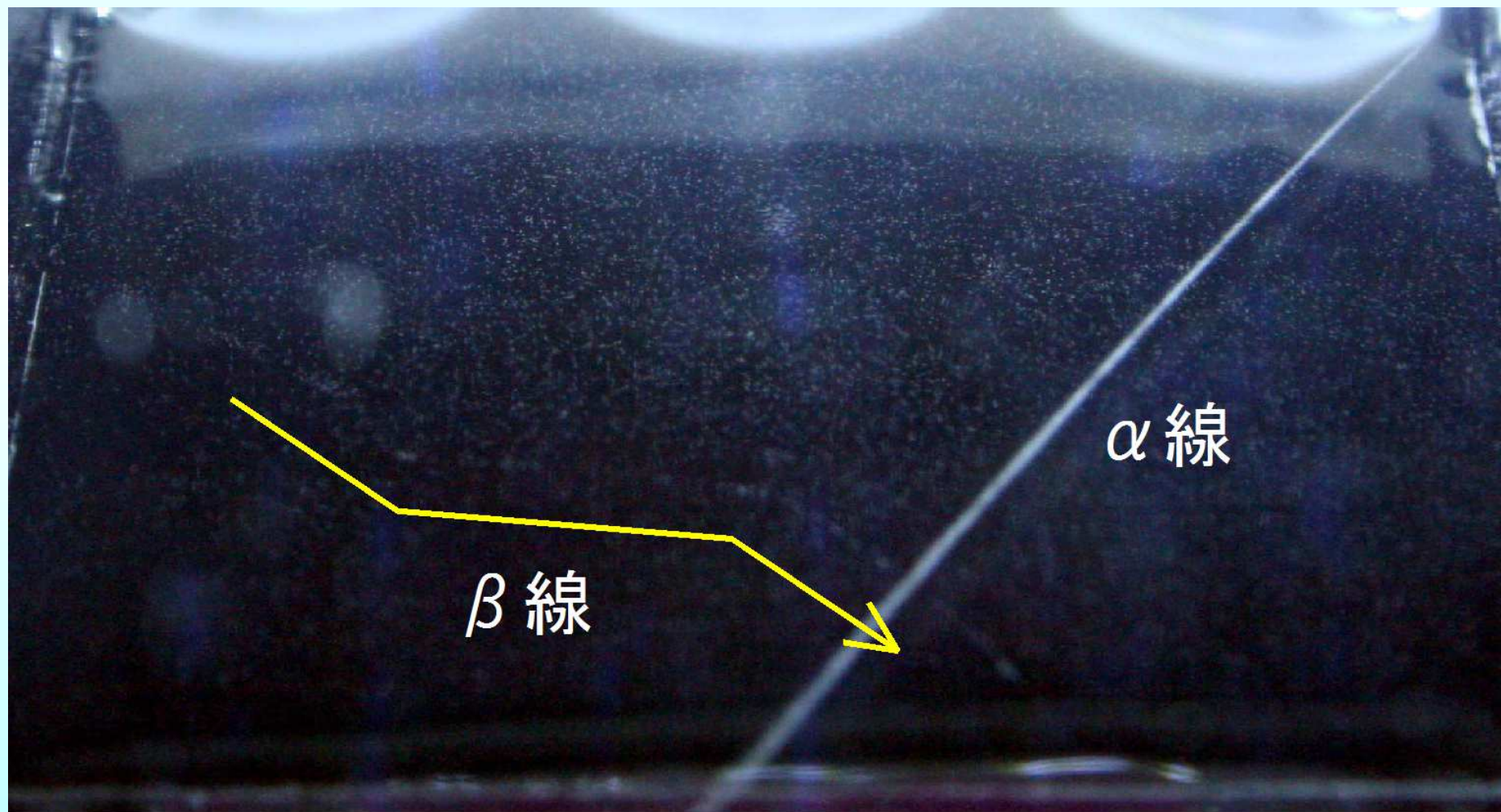
β 線の飛跡



霧の液滴の密度が低く、うっすらとした飛跡しか示さない。電子線の入射方向と関係なく様々な方向に飛び、空気中でも散乱されている様子を確認できる。

霧箱での飛跡の観察

トリウム含有マントルからの β 線の飛跡と
空气中ラドン由来核種からの α 線の飛跡の比較



γ 線の観察

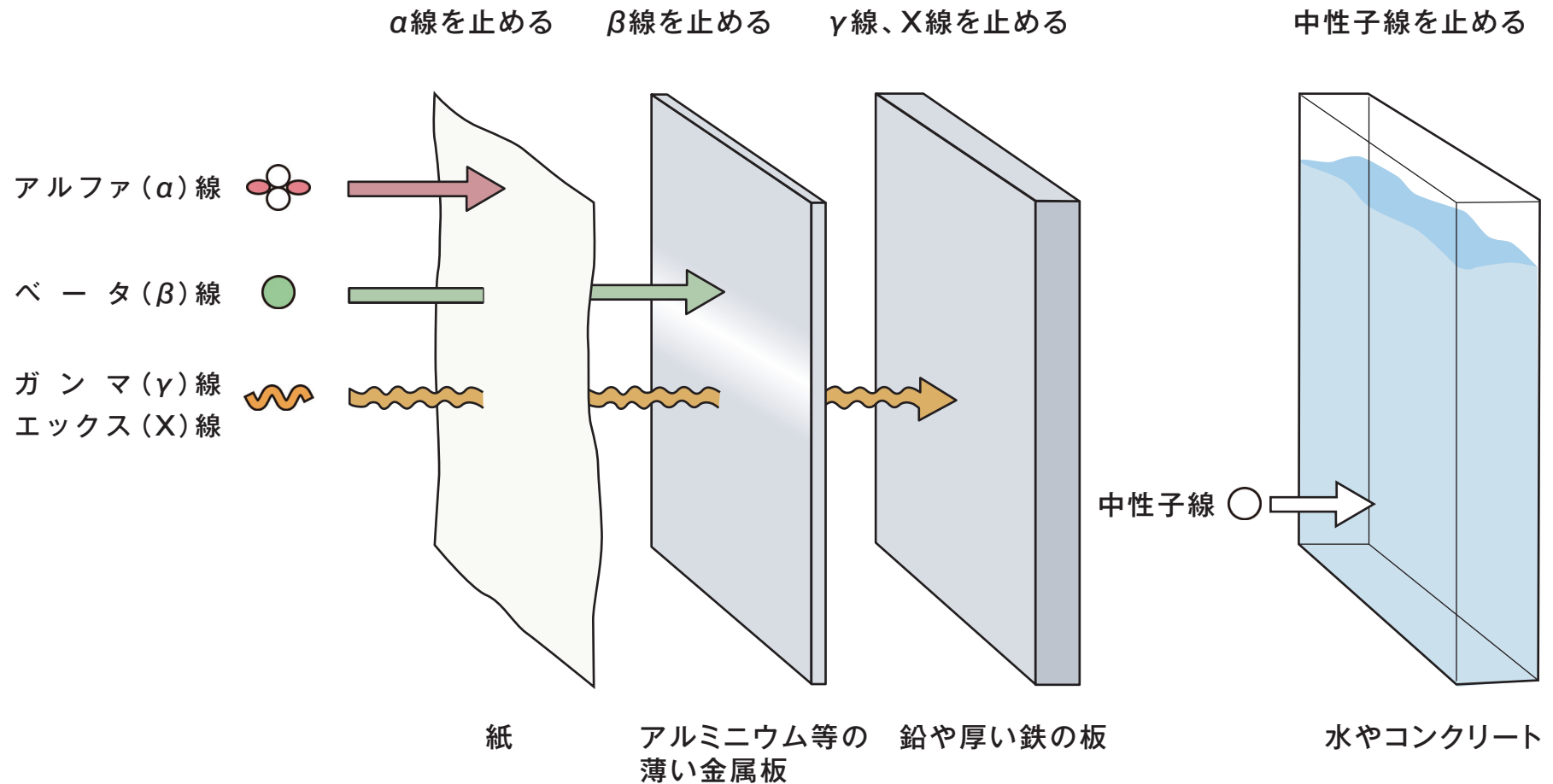
入射電子線のエネルギー E (MeV),
最大飛程 R (g/cm^3) とすると、
 $R = 0.542 E - 0.133$ ($0.8 < E$)
ウラン系列核種からの β 線のアルミ中での最大
飛程は、Bi-214 からの 3.27MeV による6.1mm。

マントル線源を6mm以上のアルミ板で遮蔽してからチャン
バーに乗せても、 γ 線が光電子などを叩き出して、 β 線と
同じように飛跡が観察されることが分かる。(イベント数は
非常に落ちる)

γ 線は物質を透過したあと、最終的に相互作用する際は
 β 線と同様になるというのが良く分かる

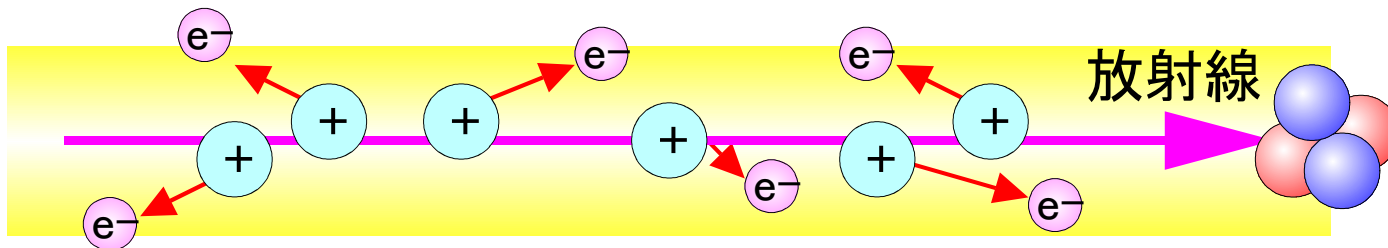


放射線の種類と透過力



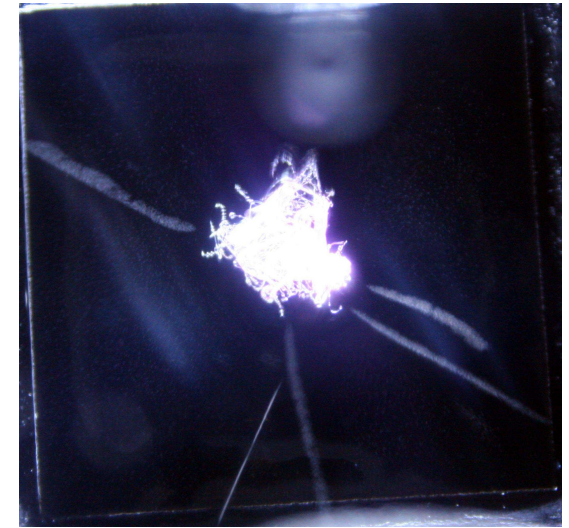
どうして白い筋の様に見えるの？

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。このイオンが過飽和の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。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、白い筋の様に見えるのです。（放射線の飛跡と言います）

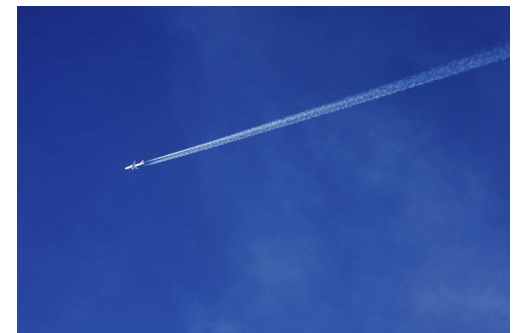


電離によるイオン対の生成

放射線として飛んで行っている原子核や電子は小さすぎてとても目では見られませんし、とても素早いので超スピードのカメラでも追いつきません。でも、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う。



電子線(β線)とα線の比較

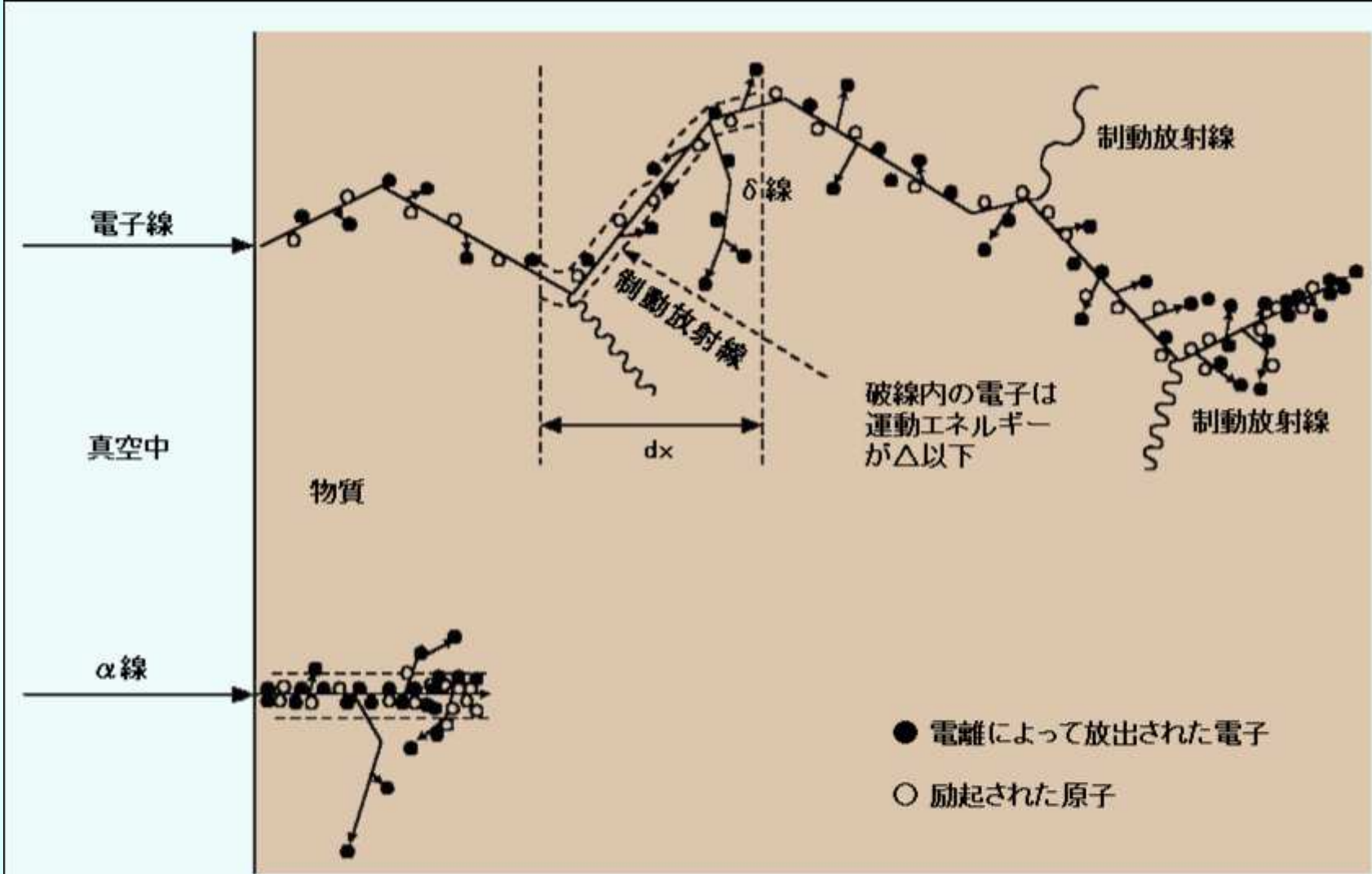
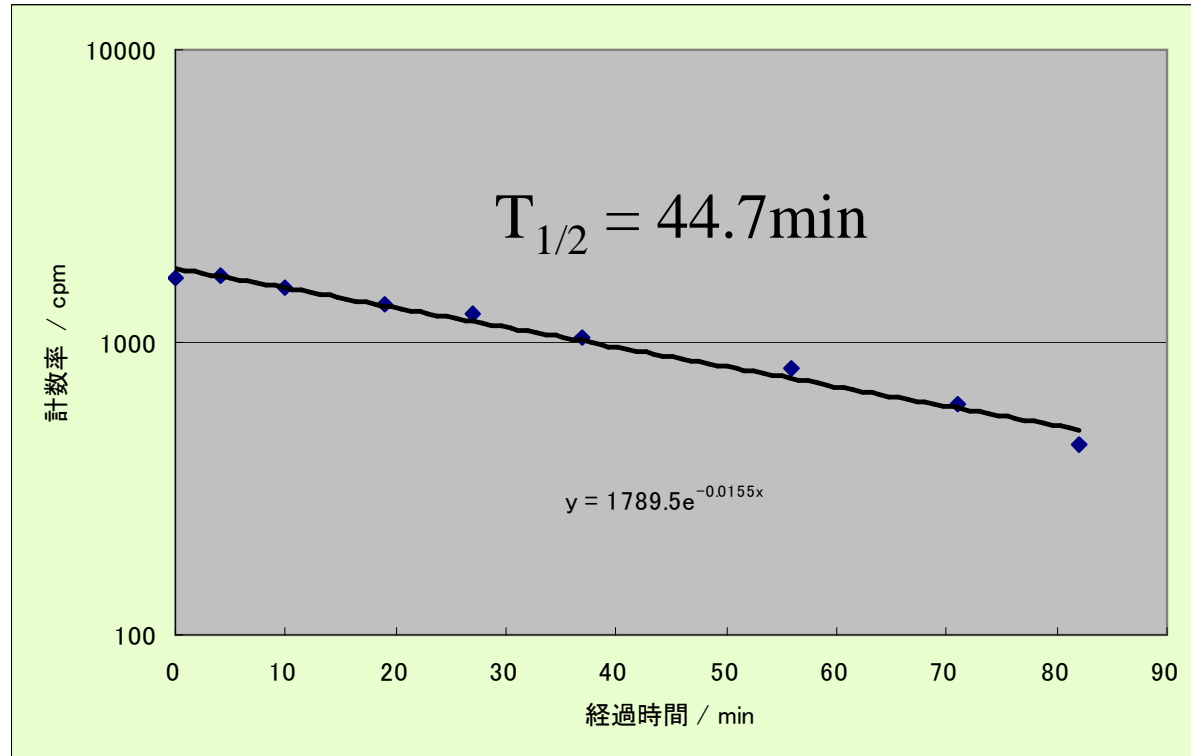


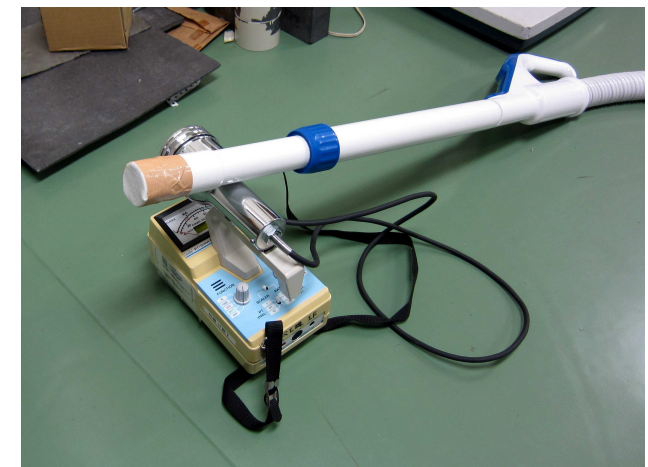
図1 荷電粒子と物質の相互作用

[出典]江藤秀雄(ほか):放射線防護、丸善(1982年12月)、p.54

空気中のラドンの娘核種の捕集と崩壊曲線



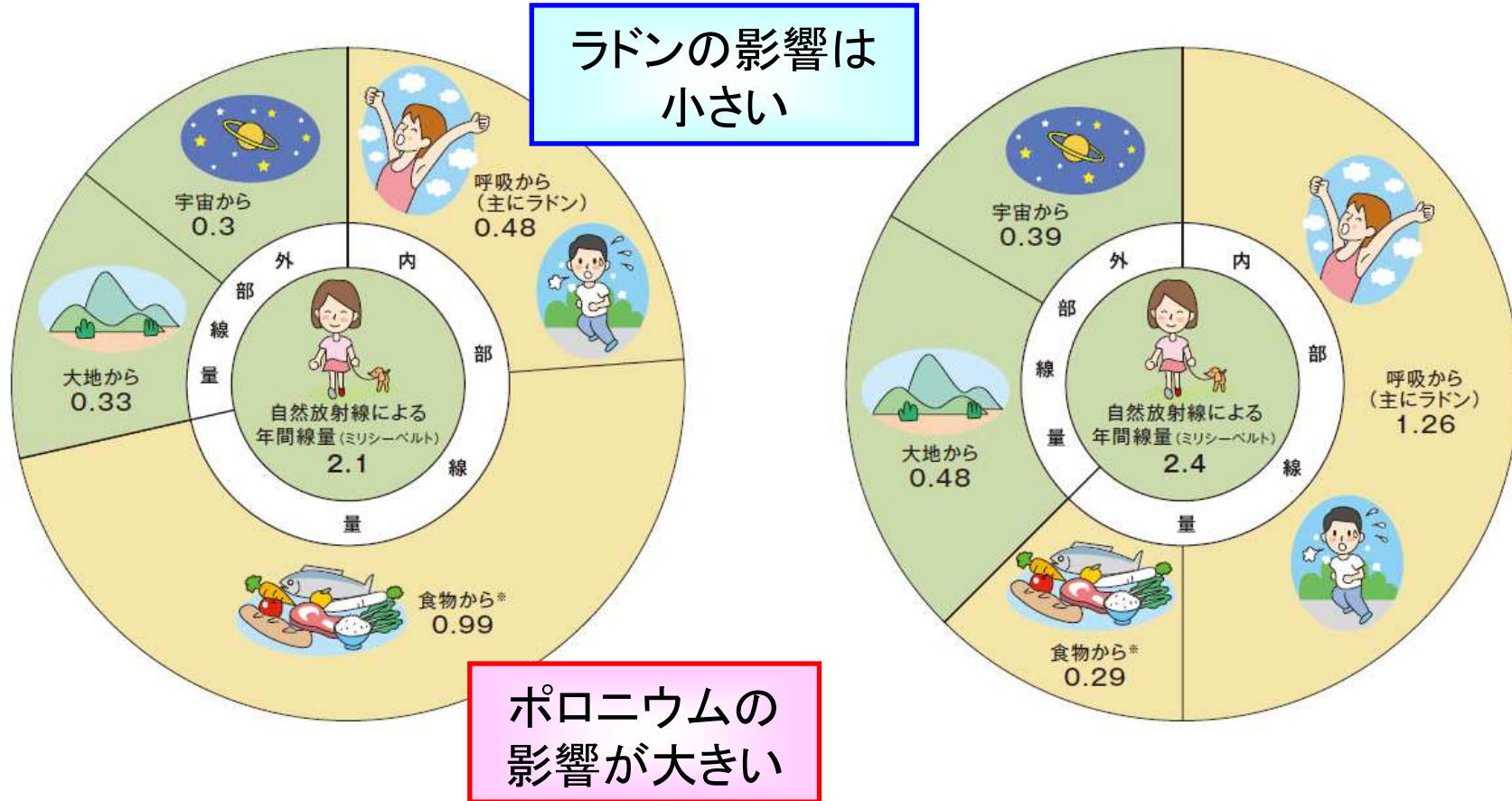
市販の掃除機吸入口先端にガーゼ(ベンコット)をかぶせて5分ほど吸引し、広窓型GMサーベイメータ TGS-136 のスケーラーモードで1分間計数した



自然放射線から受ける線量

一人あたりの年間線量(日本平均)

一人あたりの年間線量(世界平均)



※欧米諸国に比べ、日本人は魚介類の摂取量が多く、ポロニウム210による実効線量が多い