

**2017/08/26 中国地域エネルギー環境教育研究会
教師力アップ研修会
於 TKPガーデンシティPREMIUM広島駅前**

**現場に届く
放射線教育コンテンツ
支援プロジェクト**

**大阪府立大学 放射線研究センター
秋吉 優史**

本発表の要旨

これまでの様々な勉強会や、学会、各地の学校教育現場の声から、実際の教育現場に於いては誰でも、確実に、時間をかけずに、費用もかけずに実施できる、かつ教育的内容に富んだ放射線教育コンテンツの開発が必要であると痛感致しました。

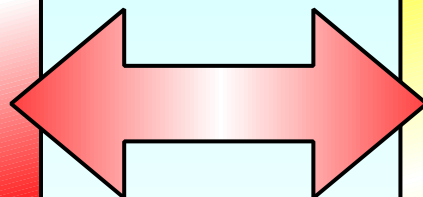
これまでにペルチェ冷却式高性能霧箱をはじめとした、様々なコンテンツ開発を行ってきましたので、簡単に紹介致します。これらのコンテンツは、今後授業で即使える形にソフトも含めてパッケージ化することを検討しており、更なる現場の声を必要としています。

さらに、それを実際の現場に予算をかけずに継続的に届けるための、ふるさと納税を活用したプロジェクトを紹介致します。

実際に使える教材とは？

コスト

手間



確実性

教育効果

実施に要する時間

直感的に体感できるか？

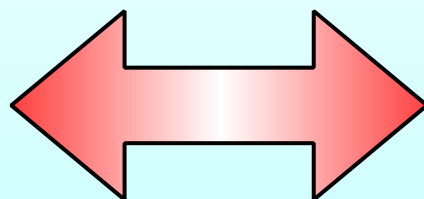
誰でも容易に使える汎用性

他のテーマへの発展性

ほとんどの場合で、お金もないし時間もない・・・

大学の研究者

実際の教育現場



相互のコミュニケーション
が不可欠

実際の教育現場の状況が分からない

教材開発まで行っている余裕がない
一部の熱心な先生しか実施できない

現在どういう内容について教えているのか知らない

従来の放射線教育コンテンツの限界・問題点

これまで長年にわたって様々な教育・研究者が放射線教育に従事し、霧箱や自然放射線の測定などのコンテンツが開発・改良されてきました。しかしながら、従来のコンテンツでは以下の様な限界があります。

- ・霧箱で飛跡が見えた、に留まっていた
- ・自然界に放射線・放射能が存在する、を確認するに留まっていた
- ・機材や消耗品が高価であり、調達が困難である
- ・学校教員からの現場のニーズが拾えていない

そこで、従来の放射線教育のその次を目指し、高性能な機材の開発、また極めて安価で直感的に放射線の本質を理解可能なコンテンツの開発を行っていますので、紹介致します。

これまでに開発してきた放射線教育コンテンツ

これまで関西各地でのオープンスクールや「みんなの暮らしと放射線展」において、様々な新規コンテンツによる放射線教育を実施してきました。

- 1) ペルチェ冷却式高性能霧箱と、簡易型大型霧箱による放射線観察
- 2) 極めて簡易、安価で確実、高性能な霧箱工作
- 3) UVレジンを用いたアクセサリ工作
- 4) 耐熱電線と熱収縮チューブの加熱の実演
- 5) 放射線検出器を用いた宝探しゲーム
- 6) 非破壊検査/厚さ計/密度計 の模擬

(2017/03/28 原子力学会春の年会 (2017) において発表済)

さらに、現在研究開発中の、塩と氷を用いた寒剤による霧箱の開発、クルックス管を用いたX線の霧箱による観察についても、紹介致します。

1) ペルチェ冷却式高性能霧箱

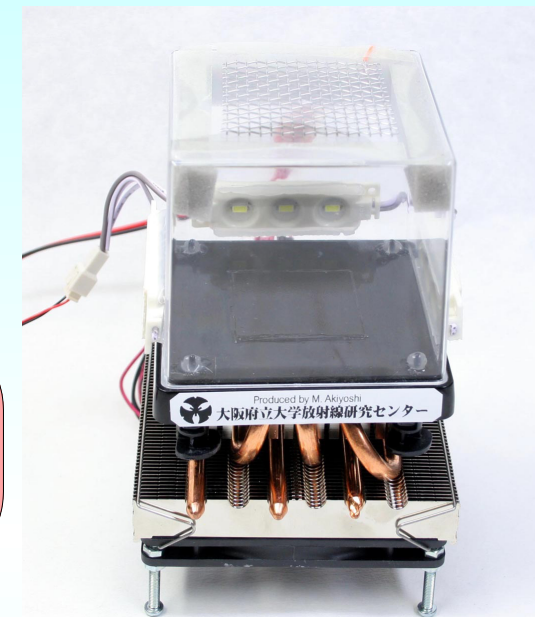
従来型の霧箱の問題点

- 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

2017年5月出荷分より
高圧電極配置の変更とチャン
バー密閉度の向上で大幅
に観察効率が上がり、悪天
候時でもより確実に使用頂
けるようになりました。

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



最新の本機ユニット



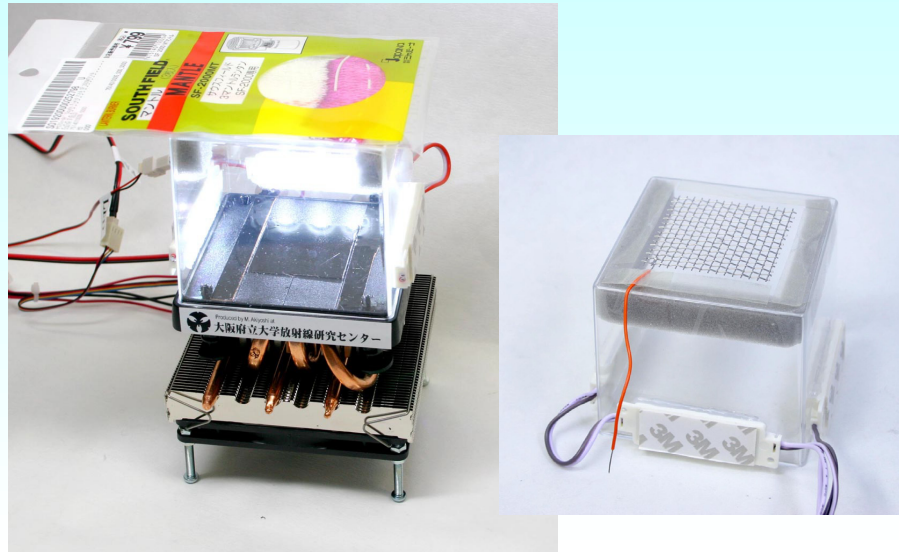
コッククロフト型高電圧ユニット

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

高性能ペルチェ冷却霧箱運用について

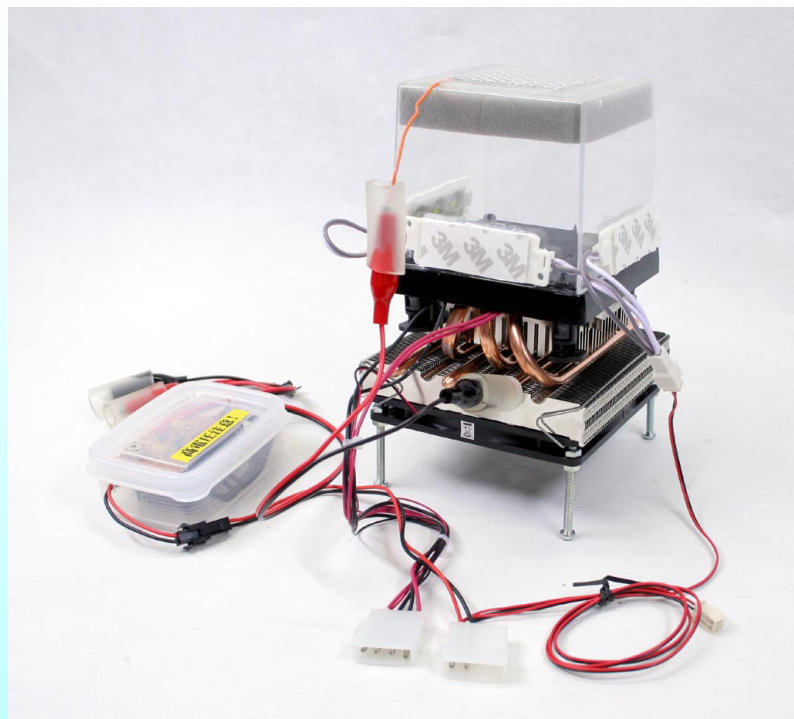


線源としてはランタン用マントルがやはり最適。季節物なので、冬場は入手困難なので注意。
サウスフィールド SF-2000MT, DX-HP マントルは現在トリウム含有が確認されている。

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。

アルコールは試薬用の高純度エタノールでなくても、消毒用の物でも、イソプロピルアルコールが入っている物でも問題無い。しっかりとスポンジにしみこませる事が重要。一度補給すれば丸一日補給無しで内部でアルコールが循環し続ける構造。

適切な高電圧印加により、悪天候時でも明瞭な飛跡を観察可能。しかし依然としてストーブや加湿機を使用している部屋での観察は困難である。



様々な霧箱展示

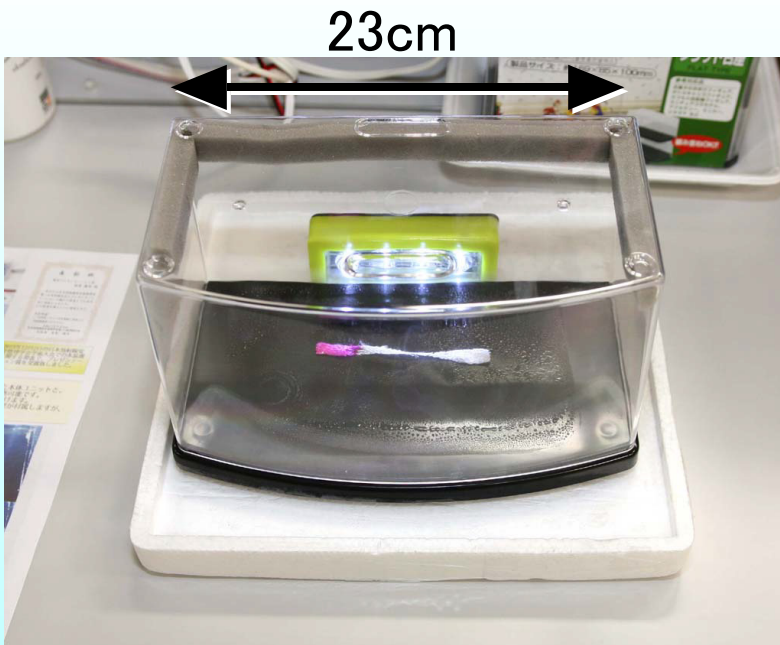
戸田式大型霧箱

- ・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
- ・上に線源を置いての β 線の観察は出来ない。



ペルチェ冷却式高性能霧箱の展示

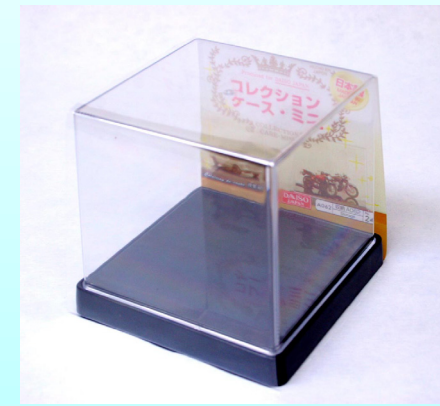
- ・観察面は狭く過飽和層は薄いがシャープで飛跡そのものを明瞭に観察可能。
- ・比較的安価なため、多数のユニットの展示が可能
- ・ α 線と β 線の飛跡を別のチャンバーを見て比較できる



- ・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

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。



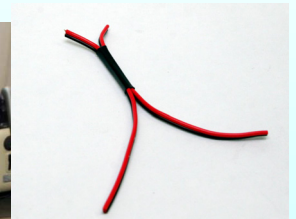
3) UVレジンを用いたアクセサリー工作

- 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。

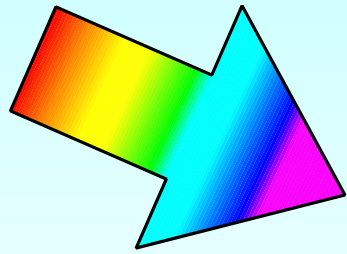


4) 耐熱電線と熱収縮チューブの加熱の実演

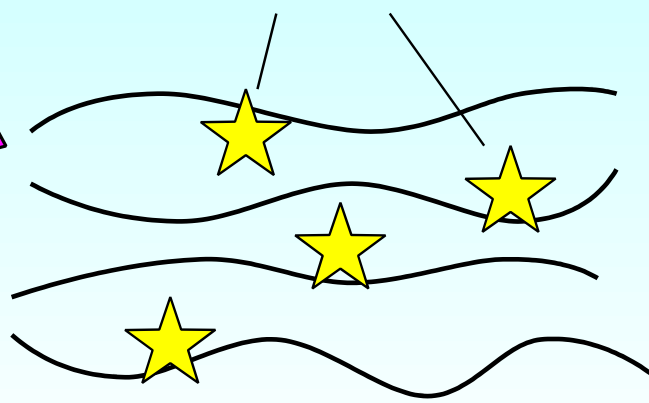
- ・放射線による架橋で強化された材料の実例として、耐熱電線に熱収縮チューブをかけてドライヤーでシュリンクさせる実演を行った
- ・株式会社サンルックスより市販されている、放射線橋かけ技術を活用した形状記憶樹脂の実演も行った。
- ・東洋タイヤ製のタイヤ現物の展示も行った。照射前の生ゴムもあると説得力があるか



X線、 γ 線、電子線 などの放射線

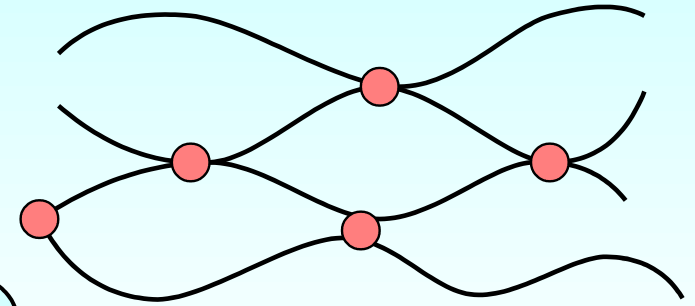
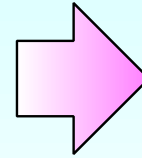


放射線の力で刺激を与えます(励起)



お互いに連結されていない
長い高分子の鎖

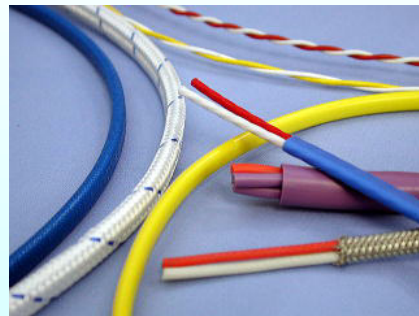
刺激されたところがお互いにくっついて、
網目状になり、強い高分子になります



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。

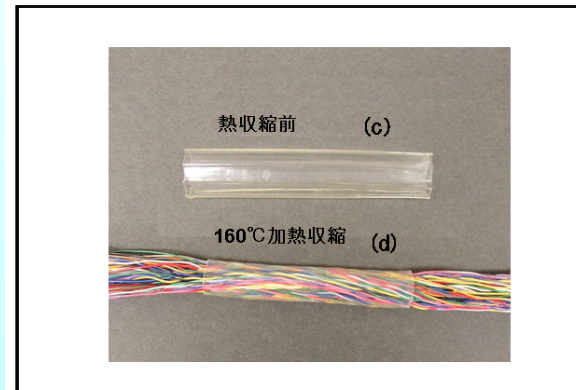
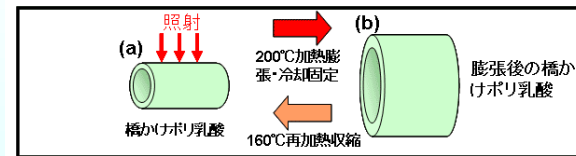


図8 橋かけポリ乳酸による熱収縮チューブ

[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



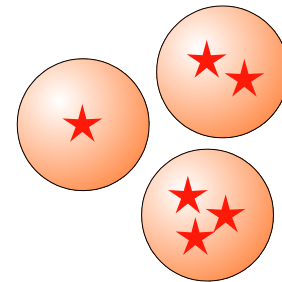
探知機を使って 宝の玉を探し当てよう!



宝の地図に隠された目に見えない玉を、放射線の力を使って探し当てよう!

探知機は何もないところでもきまぐれに反応するので、ゆっくり探さないとなかなか見つけれないぞ!

Pi..PiPiPi..

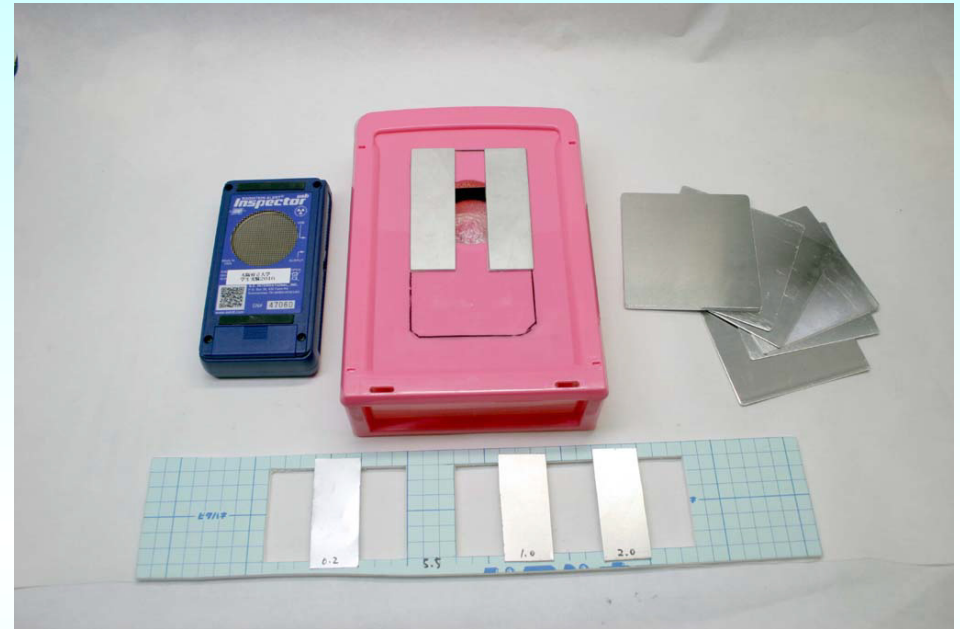


箱の中に隠してある、弱い放射線を出す「ラジウムボール」を、放射線検出器(GMカウンター)を用いて探し出します。ボールから少し離れると、急に弱くなるため、自然放射線と区別できなくなってしまいます。自然放射線は気まぐれにやってくるので、ゆっくり、じっくり探しましょう。



6) 非破壊検査/厚さ計/密度計 の模擬

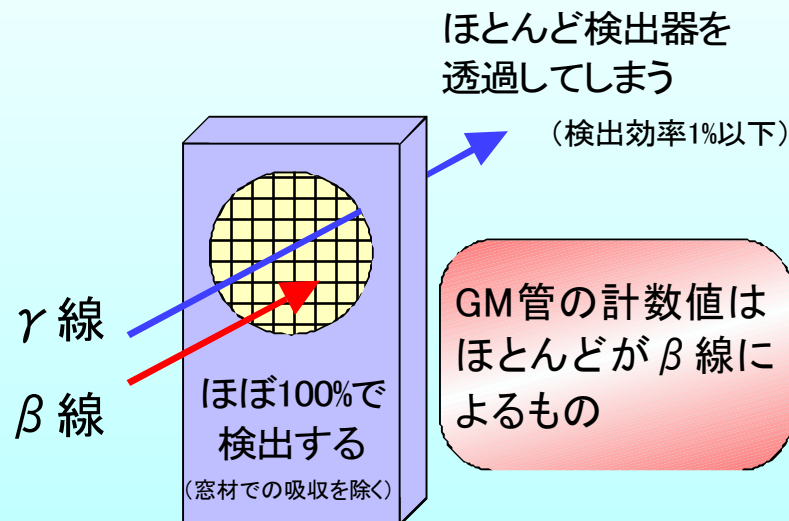
- ・インスペクターUSB GMサーベイメーターを用いた計数率変化の測定システムを開発
- ・複数の厚さのAI板を並べた試料板をゆっくりスキャンすることで、見えない部分の内部が見える非破壊検査と、測定対象の厚さが分かる厚さ計、もしくは材質・密度の違いが分かる密度計の模擬となる。



インスペクターUSB GMサーベイメーター

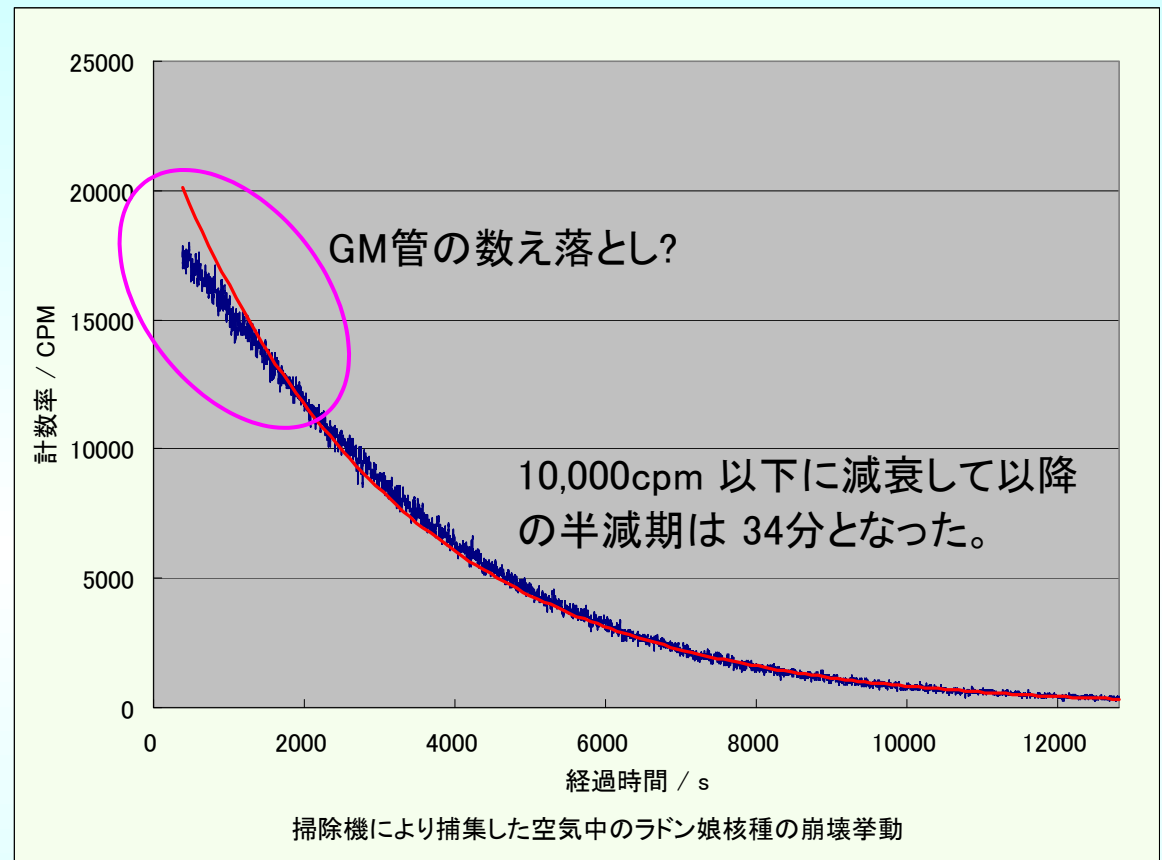


- ・ $\phi 45\text{mm}$ のパンケーキ型(端窓型) GM管を使用しており、高感度で高性能な割に 9万円弱と比較的安価
- ・PCにUSB接続して付属のソフトで連続的に計数率を記録、グラフ表示可能であり、トレンドを追うことができる。
- ・ラドン娘核種の崩壊挙動評価を40分程度の短い実習時間で他の実習をしながら実現可能



計測されるのはほとんどがβ線であることに注意。 $\mu\text{Sv/h}$ の実効線量率を表示するモードもあるが、β線は遮蔽されていることが前提。

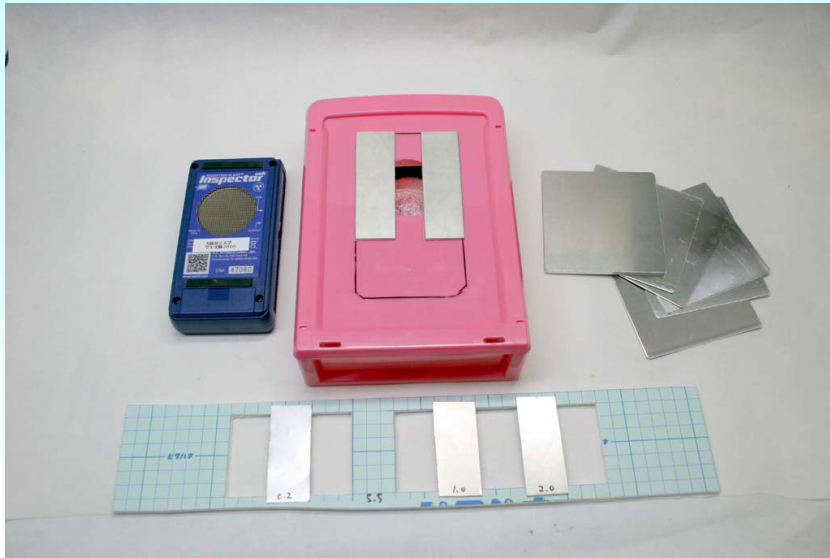
空気中のラドン娘核種の崩壊挙動



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。

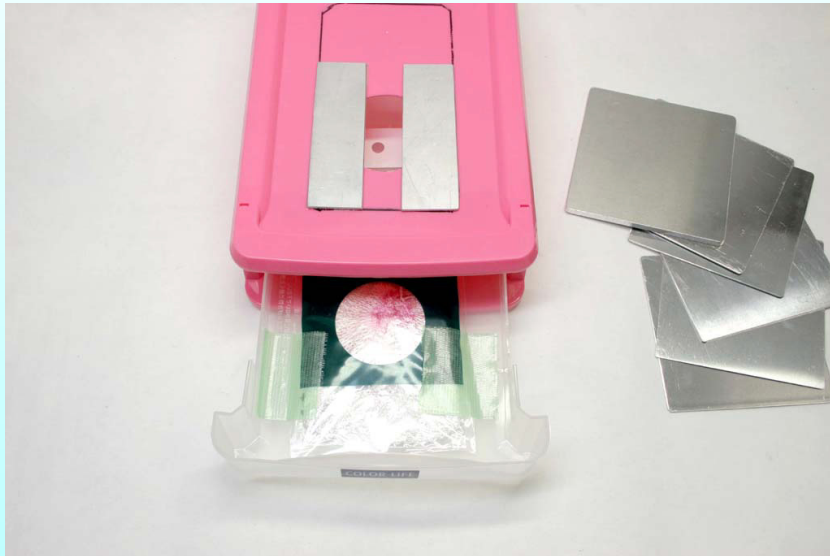
簡易な引出しを用いた遮蔽率測定体系



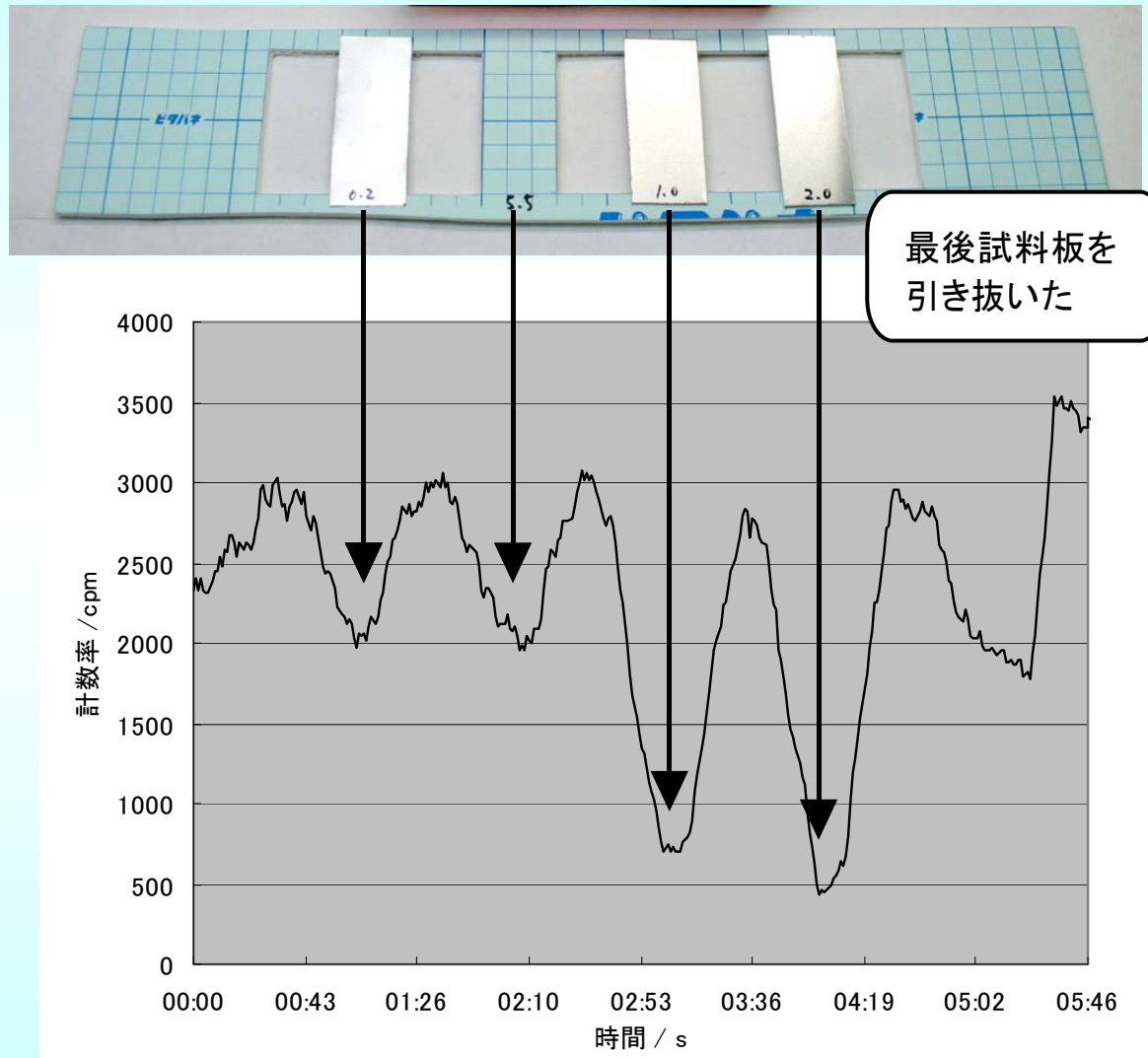
厚さが既知のアルミ板を引出しに入れて測定することで、線源と測定器の位置関係を一定に保ったまま遮蔽条件を変化させられる。



既知の試料を測定後、厚さが未知の試料を並べた試料板を横から差し込んで連続的に遮蔽状態を変化させる。



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、
blank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

寒剤を利用した霧箱の教材化

ドライアイスを使用しない霧箱と言うことでペルチェ冷却式の霧箱を開発してきたが、生徒全員に行き渡るようにするには依然としてコスト的な問題が残っている。このため、**第3の選択支として、氷と塩を使った寒剤による霧箱**を検討している。既に複数の研究者によって塩化カルシウムを用いた寒剤などによる霧箱が報告されているが、最も冷却能力の高い $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ は**常温での保存が出来ない**ため、一般に市販されていない。

融雪剤として大量に安価で市販されている $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ から $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ を製作することは可能であるが、ある程度の手間と時間を要する。塩の溶解に伴う発熱、凝固点降下、寒剤の仕組み、過飽和溶液からの結晶成長など、**理科の実験として非常に面白い要素を含んでいる**ため、上手くそれらの単元の実験と併せれば成立可能であると考えられるが、実際の教育現場での綿密な検討が必要である。 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ を使用出来れば、ポリパックの中で寒剤を混ぜてディスプレイケースの下に入れるだけで従来型の霧箱として使用出来ることを確認している。

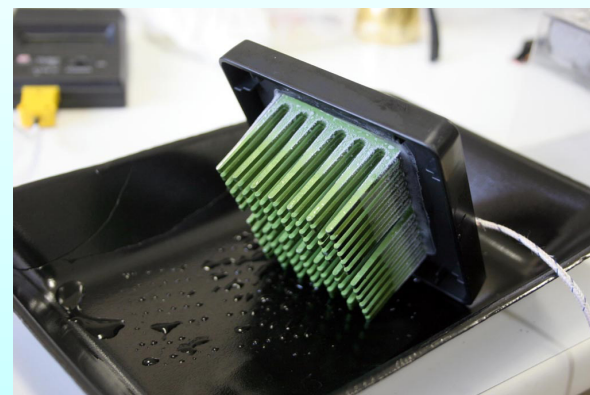
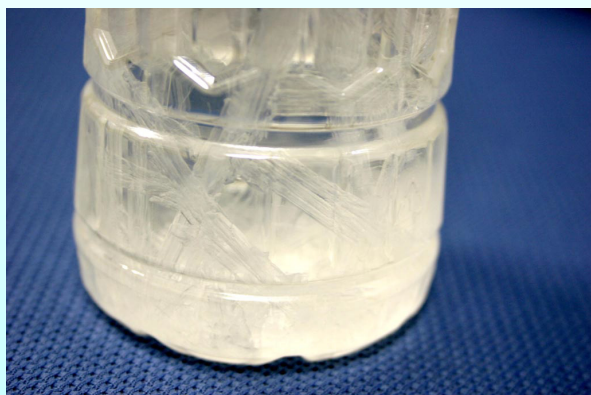
[1] 塩化カルシウムを寒剤とした拡散霧箱の開発, 柚木 朋也, 津田 将史, 物理教育, 60 (2012) 184-187.

[2] S霧箱を使用した放射線の観察に関する研究 - 中学校における取組 -, 柚木 朋也, 伊藤 雄一, 浜田 康司, 理科教育研究, 57 (2016) 155-168.

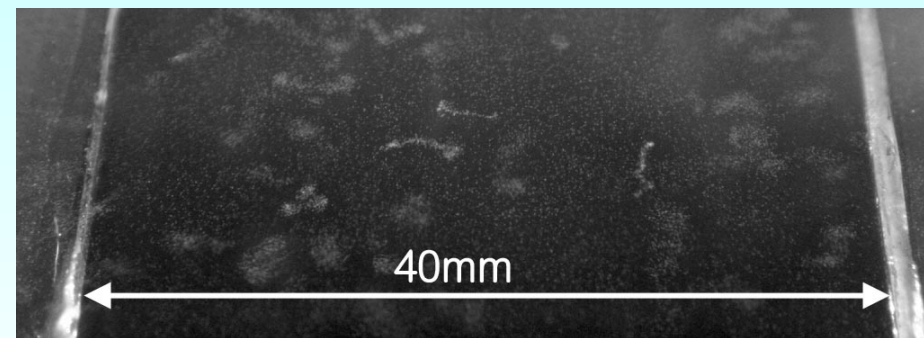
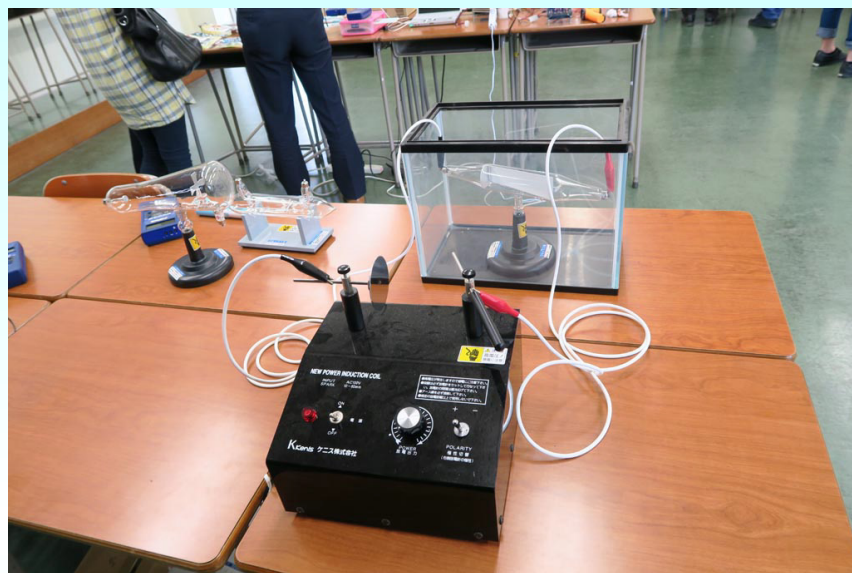
寒剤を利用した霧箱の教材化

現在は、 -20°C までチャンバー表面が冷えさえすれば放射線の観察は可能であるため、より簡便な寒剤の選択と、効率的かつ簡易・確実な熱伝導を可能とするチャンバーの開発を行っている。必要に応じてエタノールを加熱して過飽和度を上げるための安全なヒーターの使用も検討している。

ヒートシンクをディスプレイケースにマウントしたチャンバー、最適な大きさの保温容器、塩と氷のレシピ、LEDライトや線源など、必要な物をパッケージ化した教材として出来る限り安価で提供できるように検討中である。



クルックス管を利用したX線の可視化



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。
同じような見え方の β 線、 γ 線からの光電子に比べて非常に飛程が短く、「エネルギー」が低いという事が分かります。

中学校の理科教育における学習指導要領で「真空放電と関連付けながら放射線の性質と利用にも触れること」と定められています。

電子を弾き飛ばす「電離」と言う現象

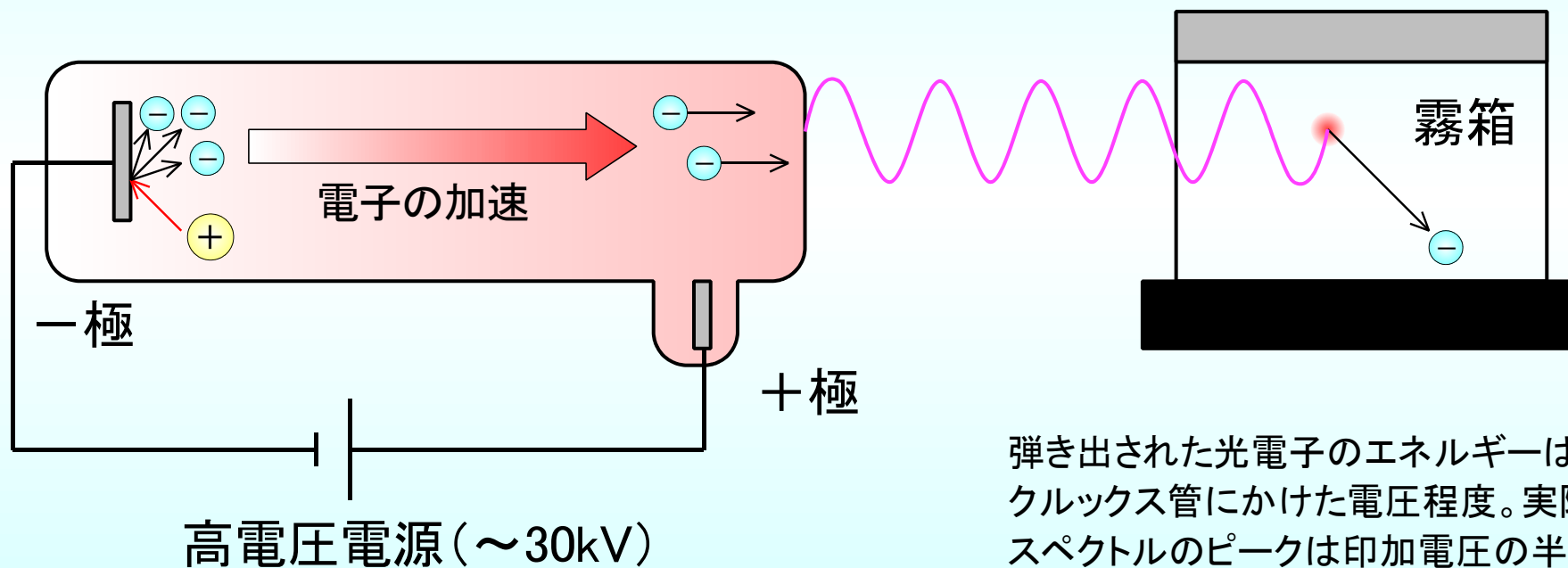
放射線と物質の相互作用の本質

クルックス管の動作原理

＋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)

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

X線は最終的に原子の周りを回る電子を光電効果などで弾き飛ばして(電離作用)、弾き飛ばされた高速電子は β 線と同じように振る舞う。



マントル線源の観察などで見られる β 線や、 γ 線からの光電子よりもずっとエネルギーが小さく、飛程も短い。

弾き出された光電子のエネルギーは、最大でもクルックス管にかけた電圧程度。実際には、X線スペクトルのピークは印加電圧の半分程度、光電子のエネルギーはX線のエネルギーから軌道電子の結合エネルギーの分だけ低くなる。コンプトン電子では角度によってさらにエネルギーは低くなる。

クルックス管を安価に安全に使用出来ないか？

クルックス管自体は3万円程度であり、適切な真空度での真空封入の手間など考えると、自作などで対応するのは困難。

電源については、誘導コイルが10万円以上するが、インバーター回路とコッククロフト回路を用いた電源でも何とか動作可能であり、現在商品化に向けて開発中。

株式会社ホリゾンからは、冷陰極を用いて低電圧(Max 5kV)で被ばく線量を抑えての陰極線観察を可能としたクルックス管が 22,000円、電源も18,000円と手軽な金額で発売されている(*2)。

同じ電圧で駆動させても他社製品より X線放出量は少なく、さらに低電圧動作が可能であるため、5kV 程度での動作では全くX線の放出が観測されなかった。

電子線の観察だけであれば非常に安全であり、安価でもあるため最適であるが、X線の測定を含めた実習を考えると、もう少し高電圧を印加して特定の方向でだけX線が測定できるような装置と、遮蔽体を組み合わせた実験体系が望ましい。

(*1) <http://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/labo/crookes.pdf>

(*2) http://www.horizon21.co.jp/products_detail1_4.html

大阪府立大学のつばさ基金制度

大阪府立大学は「**公立大学**」であり、大阪府の協力により、**ふるさと納税制度**を活用した「つばさ基金」制度が存在します。この制度を最大限に活用した放射線教育振興プロジェクトを設立しています。

この制度を活用することで、大学教員であれば一人10万円程度の寄付を、**自己負担2000円のみ**で行う事が出来ます。そして寄付戴いた財源から、ペルチェ冷却式高性能霧箱や、サーベイメーターなどの**放射線教育振興のための物品**を購入し、**寄付者の所属先を含めた全国の教育現場に貸与**することが出来ます。

しかも、一度だけでなく、**毎年寄付が可能**ですから、**継続的かつ安定して毎年物品購入が可能**です。これにより、**放射線教育を実施するための資金的な問題が根本的に解消される**、画期的なプロジェクトとして、昨年度から運用を開始しています。放射線教育に関連する物であれば、Amazonなど一般の業者販売の物品でも入手可能です。すぐに執行せずに年度繰り越しすることも可能です。

ふるさと納税制度は自分の税金の用途を決めることが出来る制度、ということで、**お肉やお酒などの全国の特産品を個人的にもらうのではなく**、放射線教育のために活用して戴ければ幸いです。

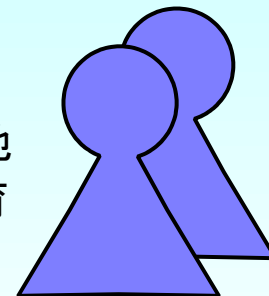
大阪府立大学のつばさ基金制度を 活用した放射線教育振興プロジェクト

全国の教育現場での
放射線教育の実施
(委託)

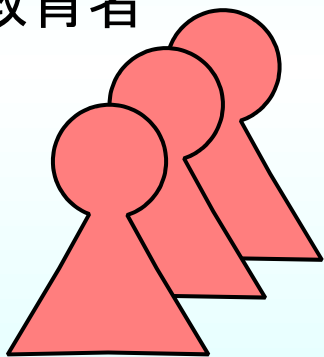
寄附金額の半額分程度を上限に貸与
10万円の寄付で、5万円分の物品

放射線教育用の物品

残額から福島や僻地
校などの放射線教育
現場へ放射線教育
用の物品を貸与



教育者



ふるさと納税
(寄付)

放射線教育振興プロジェクト:
1627200700 に寄付する旨連絡

大阪府

プロジェクト
への分配

13%は大学へ

大阪府立大学
放射線研究センター

物品購入

寄付者の地元
自治体

自己負担2000円以外は翌年の税金控除で
全額(*)帰ってきます

*所得により上限金額があり、
独身で年収600万円の場合
¥77,000の寄付が可能です。

府大からも2000円分相当の
府大グッズが進呈されます

ペルチェ霧箱を貸与する場合は、客観的で透明な経理
を実現するために、大阪ニュークリアサイエンス協会
(ONSA)を通して、直接公費での会計処理を行います。
それ以外の物品は、公費対応でない通販業者などでも、
立替払いで対応可能です。

ペルチェ冷却霧箱の売上利益から、製作のための
学生アルバイトを雇用して社会還元しています。

放射線教育振興プロジェクトにおける寄付金の流れ

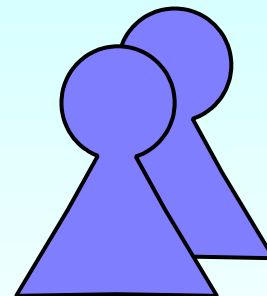
寄付頂いてすぐに物品発注を行う必要はありません。必要に応じて、年度繰り越しも可能です。

50,000円分の物品

放射線教育用の物品

37,000円分

残額から各地への物品貸与など様々な放射線教育振興活動を行う



教育者

WIN - WIN

100,000円
の寄付

大阪府

87,000円
が配分

大阪府立大学
放射線研究センター

13,000円は大学へ

物品購入 87,000円

98,000円
が帰ってくる

寄付者の地元
自治体

「換金性の高い物品」
の貸与は出来かねますので、ご容赦下さい

ペルチェ霧箱の場合は ONSA を通しての購入。そのほか、公費払いの業者の他、Amazonなどの通販業者もこちらの立替払いにて対応可能です。なお、検収の都合で大阪府大への納品が必要で、寄付者への発送は別途送料が必要です

府大からも2000円分相当の府大グッズが進呈されます

ペルチェ霧箱ユーザーメーリングリスト

様々な立場の放射線教育者を繋ぐ試みとして、ペルチェ冷却式高性能霧箱を導入頂いたユーザーに、メーリングリストへの登録をお願いしております。

大学、高校、中学、企業研究所、国立研究所など、非常に広い範囲の方々に参加頂いており、今後情報交換によって霧箱の利用ノウハウのみならず、様々な放射線教育に関する情報が共有されていくことを期待しています。