

**2016/12/01 放射線安全管理学会 15回大会**  
**於 岡山大学（津島キャンパス）創立50周年記念館 金光ホール**

**P-37**

**ペルチェ冷却式高性能霧箱を用いた、  
高校生に対する放射線教育実例**

**大阪府立大学 放射線研究センター**  
**秋吉 優史**

# ペルチェ冷却式高性能霧箱を用いた放射線教育

- 昨年度の本大会に於いて発表者はペルチェ冷却式高性能霧箱の紹介を行っており、プレゼンテーション賞を頂いた。その後放射線教育フォーラムなどでの紹介もあり、順調に普及活動を続けている
- 順調に改良も進み、ハードウェア的にはほぼ完成形と言える形に到達した
- 様々なオープンスクールでの展示に加えて、本製品を用いた教育プログラムを開発し、2016/8/18 に福井県立若狭高校からの訪問研修に於いて56名の高校一年生の生徒に対して実習を行った。



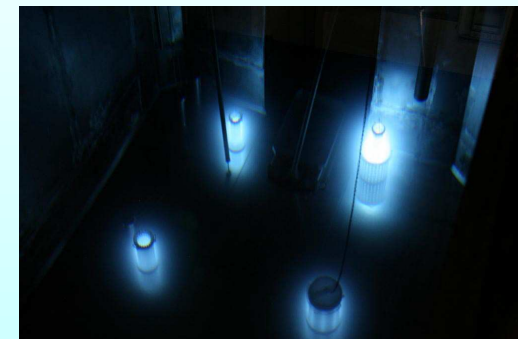
全体でのセンターの施設説明と  
安全講習



Co-60 線源棟の見学



放射線利用に関するパネル説明



日本の研究施設で最高の線量率が  
得られる Co-60 水中線源

# ペルチェ冷却式高性能霧箱

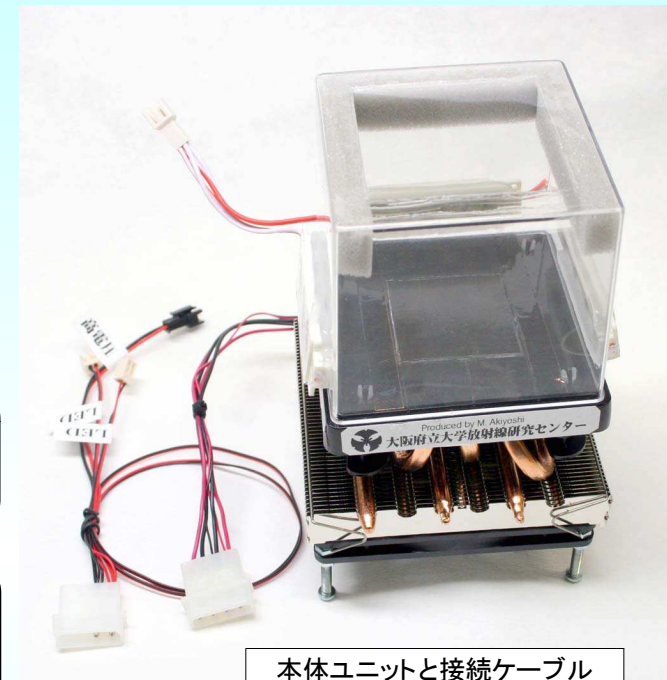
## 従来型の霧箱の問題点

- 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
- $\alpha$  線の飛跡が見えた、だけに留まっていた

2016年9月出荷分より  
素子の組み合わせ最適化で  
到達温度がより低くなり、塗  
装の強靱化でアルコールへ  
の耐性をアップさせました!

## 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
- $\alpha$  線の飛跡の観察に加えて、 $\beta$  線の飛跡の観察も可能で、さらには  $\gamma$  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



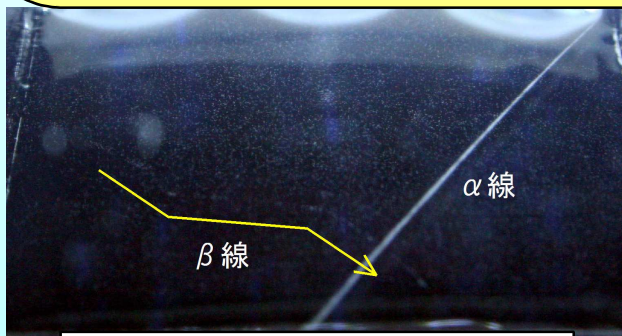
本体ユニットと接続ケーブル



コッククロフト型高電圧ユニット

ふるさと納税制度を用いて、ほぼ無償で入手できます!

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](mailto: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>



$\beta$  線の飛跡と  $\alpha$  線の飛跡の比較

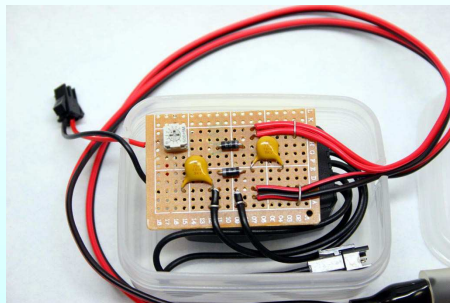


ホームページQRコード



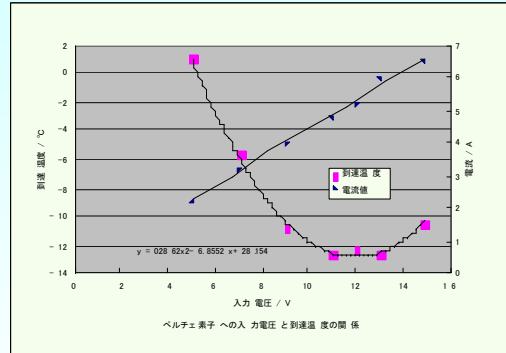
# 技術的特徴、改良点

- ・ペルチェ素子を2段重ねのカスケード接続することで、到達温度は  $-30^{\circ}\text{C}$  以下とした。
- ・市販の高性能CPUクーラーを使用 強烈な廃熱を処理
- ・チャンバーはポリスチレン製でアルコールに侵されない
- ・電圧可変の高電圧ユニットにより 空気中の雑イオンを低減させ、クリアな飛跡を観察可能 (500V前後がもっとも観察しやすい)
- ・素子表面、高圧テープは温度変化、アルコールに対する耐性のために、2液混合ウレタン塗装とした
- ・高輝度LED 9灯使用で、明るい環境でも観察可能



インバーター回路に入力する電圧を半固定抵抗で落とすことで、出力電圧をコントロール可能。最適なセッティングでの出力電圧を測定すると、500V程度であった。

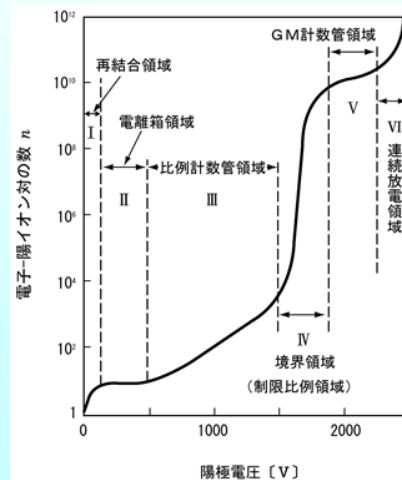
## 素子への印加電圧の最適化



TEC1-12708 ペルチェ素子1枚をShuriken Rev.Bクーラーに載せて(銀ペーストはMX-4)、電圧を変えたときの表面温度の変化。

ペルチェ効果は電流に比例し、ジュール発熱は電流の二乗に比例する。

## 雑イオン除去電圧の検討



印加電圧とイオン電流の関係

## 素子の組み合わせの最適化

カスケード接続したペルチェ素子の組み合わせによる到達温度の違い

素子	なし	下段(12V)							
		なし	12703	12705	12706	12708	12709	12710	12715
上段(5V)	なし	25	-13	-15	-14	-15	-10	-9	4
	1 2703	0	-20	-22	-24	-25	-24	-22	-4
	1 2705	0	-17	-23	-21	-26	-21	-20	-4
	1 2706	0	-17	-23	-20	-25	-21	-17	-4
	1 2708	-2	-12	-19	-17	-23	-17	-12	0
	1 2709	0	-12	-22	-18	-25	-19	-14	-1
	1 2710	1	-6	-15	-13	-19	-13	-7	-6

使用クーラー: Scythe Shuriken B (制御端子カットにより常時フルパワー)  
使用銀ペースト: Arctic MX-4  
RT:  $25^{\circ}\text{C}$

上段は TEC1-12705、下段は TEC1-12708 の組み合わせが最適

## 素子表面の塗装の強靱化

従来品: 高耐久性ラッカースプレー

→ 現行の塗装プロセス  
シリコンオフ(ヘプタン)で表面の脱脂、  
密着プライマーで下地処理、  
2液混合ウレタンスプレーで塗装

温度変化でも剥離せず、エタノール、イソプロパノールに侵されない強靱な塗膜が得られた

# 実習メニュー

午前中に1時間の講義、安全講習の後、

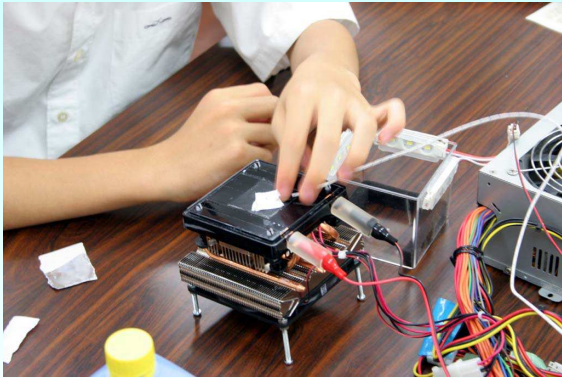
3班(18-19名)に分けて各テーマ(40min + 移動 10min)で実習を実施

- 1) 放射線研究センター 線源棟での 水中 Co-60線源等見学, パネル説明
- 2) ペルチェ冷却式高性能霧箱による $\alpha$ ・ $\beta$ ・ $\gamma$ 線の観察
- 3) サーベイメーターを用いた自然放射線の測定、空气中Rn娘核種の減衰評価

## ペルチェ冷却式高性能霧箱による $\alpha$ ・ $\beta$ ・ $\gamma$ 線の観察

- ・熱電対を用いたペルチェ素子表面温度の測定  
(ペルチェ効果とゼーベック効果の簡単な説明)
- ・ポリパックに入れたマントル線源を入れた霧箱と、空の霧箱の観察
- ・ポリパックから取り出したマントル線源を入れた霧箱での $\alpha$ 線の観察
- ・空の霧箱の上にマントル線源を置いての $\beta$ 線の観察
- ・空の霧箱とマントルの間に5mmのアルミ板を載せての $\gamma$ 線  
(からの光電子など)の観察
- ・霧箱の原理、 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 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

# 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

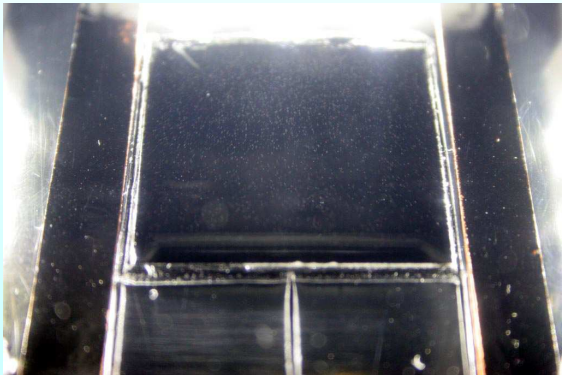


素子上面が冷やされる半面、裏面に放熱しているのを体感

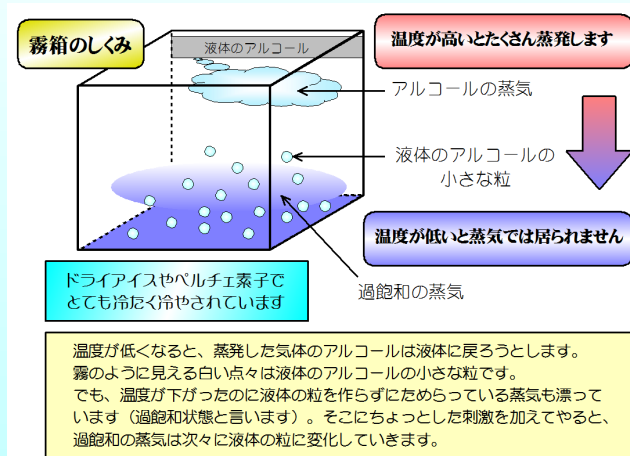
熱電対式のデジタル温度計により霧箱表面温度(-30°C程度)を測定する。

- ・熱電対と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。吸熱している訳ではなく熱を裏面に輸送している
- ・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

# ポリパックに入れたマントル線源を入れた霧箱と、空の霧箱の観察



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。



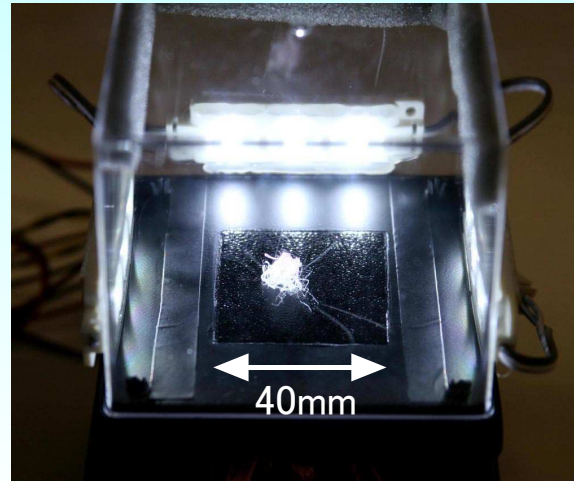
- ・スポンジテープへエタノールを注入してチャンバーを閉じ電源を入れる。IPA入りの消毒液で構わない。
- ・空の霧箱中にうっすらと霧状の液滴が生成していることを確認
- ・アルコールの気体が冷やされることにより過飽和蒸気となり、空気中の雑イオンなどにアルコール分子が集まって核生成している
- ・ポリパックに入れたマントル線源からはα線は放出されておらず、ビニール一枚で遮蔽されていることを確認



## ポリパックから取りだしたマントル線源を入れた霧箱での $\alpha$ 線の観察

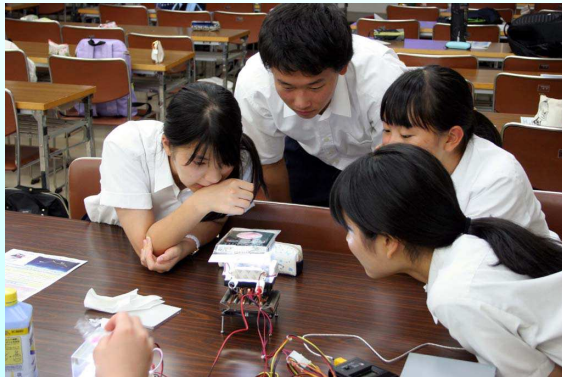


飛跡観察の様子

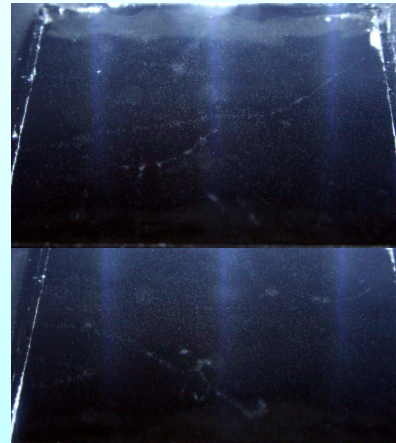


- ・マントルからの $\alpha$ 線の飛跡を観察
- ・飛行機雲と同じく、粒子自体は見えなくても飛跡が見えている
- ・空気中での飛程はせいぜい数cm
- ・はっきりと、直線的に飛ぶ。
- ・上下方向にも飛んでいるが、過飽和層が層状になっているため水平方向に飛んだ $\alpha$ 線だけが観測できている。

## 空の霧箱の上にマントル線源を置いての $\beta$ 線の観察



チャンバートン板の上にマントル線源を置いての $\beta$ 線飛跡観察の様子。



- ・ $\alpha$ 線は天板のプラスチック板を透過できない
- ・ $\beta$ 線は薄いプラスチック板程度は透過できる上に、非常に軽く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 $\alpha$ 線よりもずっと小さく、うっすらとしか観察されない
- ・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。

# 空の霧箱とマンツルの間にアルミ板を載せての $\gamma$ 線 (からの光電子など) の観察

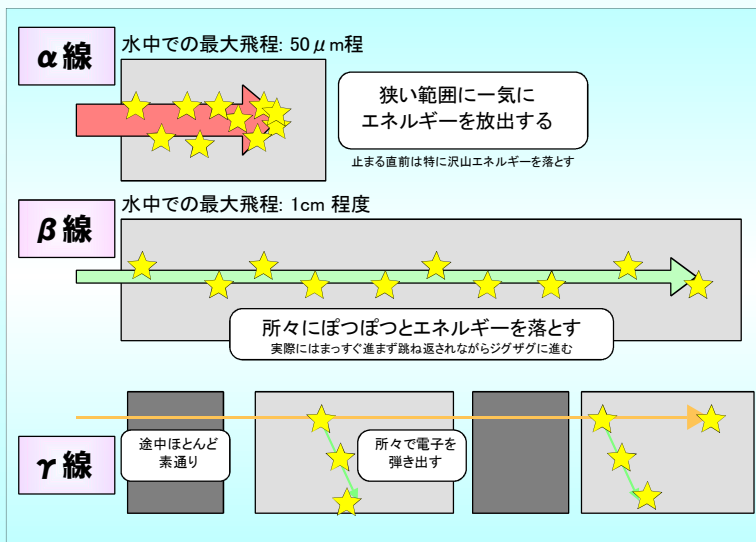


$\gamma$  線により放出された光電子などの  $\delta$  線の飛跡

入射電子線のエネルギー  $E$  (MeV), 最大飛程  $R$  (g/cm<sup>3</sup>) とすると、  
 $R = 0.542 E - 0.133$  ( $0.8 < E$ )  
 ウラン系列核種からの  $\beta$  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。

- ・トリウム系列核種からの  $\beta$  線が透過できない 6mm のアルミ板を、マンツル線源とチャンバー天板の間に入れて  $\beta$  線を遮蔽し、 $\gamma$  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、 $\gamma$  線によって放出された光電子などが電離作用を示す、 $\delta$  線が観察される。
- ・見た目は  $\beta$  線と同様であり、 $\gamma$  線が最終的には  $\beta$  線と同じような作用を示すことが分かる。
- ・チャンバーの状態が非常に良くないと観察されない。実習時点では素子の組み合わせを変更した改良版ではなかったため、半分程度のグループしか観察できなかった。改良版ではほとんどの場合で観察可能。

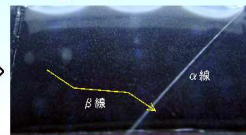
# $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線の物質との相互作用との違いと、生体影響の違いを説明



## 放射線加重係数の説明

実効線量(Sv) = 吸収線量(Gy)  $\times$  放射線加重係数  $\times$  組織加重係数  
 $\rightarrow \alpha$ 線: 20,  $\beta$ 、 $\gamma$ 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  $\mu$  Sv/年

$\beta$ ・ $\gamma$ 線のみ

Po-210: 20Bq

800  $\mu$  Sv/年

$\alpha$ 線を放出

空気中のラジウムも  $\alpha$  線を放出  $\rightarrow$  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)

\*そもそも吸収線量、組織加重係数なども異なる

- ・ $\alpha$  線、 $\beta$  線、 $\gamma$  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。 $\alpha$   $\beta$   $\gamma$  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。



# サーベイメーターを用いた自然放射線の測定実習

- ・様々な自然放射線源の測定
- ・空気中のラドン娘核種の捕集とインスペクターUSB GMサーベイメーターによる連続測定での崩壊挙動評価
- ・アルミ板を用いて遮蔽した際の $\beta$ 線と $\gamma$ 線の透過能力の違い、検出効率の違い
- ・パネルを用いて自然放射線源からの被ばくについて説明



様々な自然放射線源

- ・KCl試薬、昆布、カリ肥料、やさしお
- ・花崗岩、コンクリート片、ジルコンサンド、マグカップ
- ・ランタンのマントル、トリタン溶接棒、ラジウムボール、ウランガラス

・空気中のラドン娘核種は掃除機先端にベンコットを輪ゴムで装着して吸引することで捕集できる。その場での捕集には、超静音型のエレクトロラックス社 エルゴスリーが最適。

・ラドン娘核種の崩壊挙動評価を40分という短い実習時間で実現するため、 $\phi 45$ のパンケーキ型GM管を使用しており高感度なインスペクターUSBをPCに接続して連続的に計数率を記録、トレンドからおおよその半減期を評価した。

・2mm程度のアルミの遮蔽の有無で、GMサーベイメーターでは大きく値が変わるが、NaIシンチレーターでの $\gamma$ 線の測定ではほとんど変わらないことから、 $\beta$ 線は2mmのアルミ板程度でほとんど止まってしまう、GM管はほとんど $\beta$ 線をカウントしている、と言う事が分かる。



測定の様子



測定の様子



ラドン娘核種の崩壊を連続的な測定で評価



インスペクターUSB