

ペルチェ冷却式高性能霧箱 ユーザーズマニュアル

2018/07/17 改定 製品版 第9期型用

大阪府立大学 研究推進機構 放射線研究センター
准教授 秋吉優史 (akiyoshi@riast.osakafu-u.ac.jp)

1. はじめに

開発者はこれまでみんなのくらしと放射線展や、日本原子力学会関西支部、かんさいアトムサイエンス倶楽部(K-ASK)が各地で行っている放射線に関するオープンスクール活動などに参加してきました。その中で、霧箱工作は世代を問わず大変人気があり、目で見て直感的に放射線の存在を知ることが出来るため、教育的効果が大変大きく、様々な方が霧箱の改良に携わって参りました。近年多く行われるようになった工作を中心とせず、測定などを中心とした放射線セミナーなどでも展示物として設置が望まれています。

しかしながら、これまで霧箱の展示を行うためには、ドライアイスの準備が必要であり、小規模な展示のためにドライアイスを用意することをためらうことも少なくありません。エチレングリコールを用いた高温型の霧箱もありますが、安定して観察できるまで時間がかかる、大勢の子供が来るオープンスクールではヤケドに対する注意が必要、価格も高価で、展示中のメンテナンスの際にエチレングリコールの蒸気を吸ってしまう可能性があるなどの問題があり、余り推奨できません。

そこで、簡単に -20°C 以下の低温を得る手段として、ペルチェ素子を使用した安価で高性能な霧箱を開発致しました。複数ユニット設置しておくことにより、エタノールの補給などで一時的に飛跡を見ることができないという、ダウンタイムをカバーすることが可能ですし、 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ 線のそれぞれの違いを見比べることも可能です。

従来霧箱では、性能面の限界などから β 線の観察を行う事は困難でした。しかし、高電圧ユニットによる雑イオン除去と、安定して動作するペルチェ冷却素子と高輝度 LED を使用した本装置を使用することで、確実に β 線の観察が可能です。もちろん、 α 線は非常に明瞭な飛跡の観察が可能で、いかなる悪天候下であっても電源投入後 10 秒程度で観察が可能です。さらに、 β 線を遮蔽しても透過する γ 線により弾き出された光電子の観察も可能です。物質中の放射線の振る舞いを直感的に学習可能です。是非本製品を用いて、放射線の興味深い世界を学習する一助として頂ければと思います。

なお、本製品は可能な限りの改良によりあらゆる条件で飛跡の観察を可能とすることを目指していますが、絶対を保証する物ではありません。様々な要因で飛跡が見えない可能性があり、より確実な観察が可能となるよう皆様からのフィードバックを必要としている、研究・開発途上の β 版の製品であることをご理解願います。

2. 商品の構成について

2.1 本製品の構成部品について

本製品は、CPUクーラー、ペルチェ素子、電源接続ケーブルから成る本体ユニット（図1）と、透明なケース、LEDライト、スポンジテープから成るチャンバー（図2）、コッククロフト型の高電圧ユニット（図3）から構成されています。

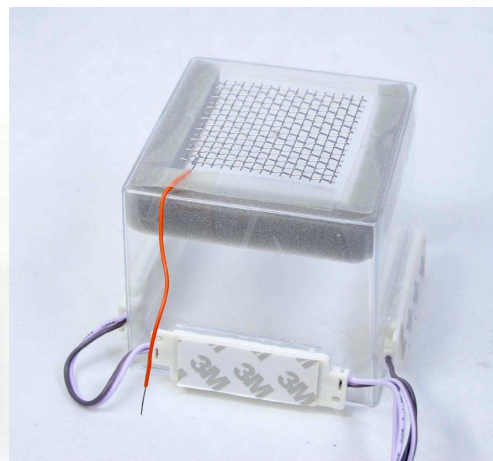


図 2: チャンバー

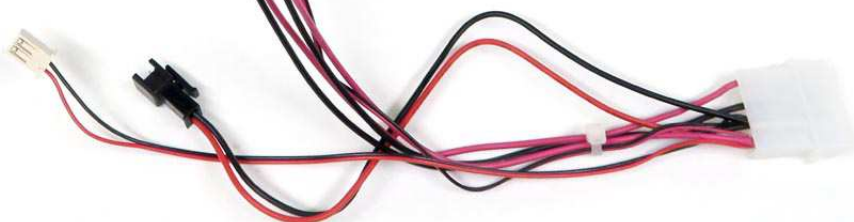


図 1: 電源ケーブル一体の本体ユニット(Master タイプ)



図 3: コッククロフト型の
高電圧ユニット

2.2 本製品以外に必要な物

2.1 で示した部品以外に、**ATX 電源**、**アルコール**、**線源**が必要です。

1. ATX 電源

ATX 電源は古い PC 等を分解すれば入手できます (図 4)。新品でも PC ショップなどで 3000 円程度で入手可能です。2 台同時に駆動する場合は、300W 以上の物を選択して下さい (250W 程度で動く場合もあります)。Pentium4 以前の古い規格の物でも構いません。ATX 電源は PC 用のマザーボードに挿して使用することを前提としているため、そのまま電源を入れても動作しません。そのため、メインコネクタが 20pin の電源では 14 番 pin、24pin のコネクタでは 16 番 pin に相当する、緑の線が繋がっている PS_ON を、黒い線が繋がった適当な COM (要するに GND 線で、左右どちらでも良い) に Y 端子などを使用して短絡します (図 5)。より古い規格の AT 電源であればこの作業は必要有りません。



図 4: 一般的な ATX 電源の例。本体に電源スイッチが備えられていると使いやすい。

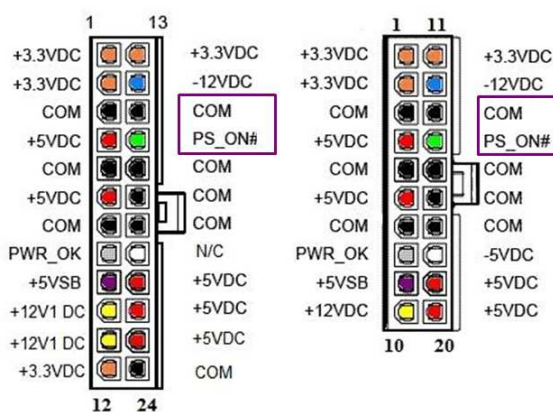


図 5: ATX 電源をマザーボード無しで動作させるために COM(GND,黒) と短絡が必要な PS_ON (緑) の配置。

2. アルコール

アルコールは研究室で試薬として用いているエタノールでも構いませんが、消毒用として売られて無水エタノールの方がずっと安価ですし、プラボトルに入っているため携帯性にも優れます。さらに、エタノール以外にイソプロピルアルコール(IPA) が 20%程度入っている消毒液も売られています。こちらの方がより安価で、飛跡の観察の際の性能に差はありません。単体のイソプロピルアルコールの方がややエタノールよりも観察しやすいのですが入手性が悪く (ガソリン車用の水抜き剤として入手は可能)、臭いが強い、使用後なかなか乾かない、スポンジテープのノリを溶かしてしまうなどの問題があるため、興味のある方だけ試して見ると良いでしょう。

3. 線源

容易に入手できる線源としては、トリウムを含んだランタン用のマンテルが最も適していますが、製品によってはトリウムを含んでいないため注意が必要です。以前は、**Captain Stag** ブランドのガスランタン用マンテル **M-7909(L)**, **M-7910(M)**, **M-7911(S)** という製品が有名で、**M-7909** (図 6) では広窓 GM サーベイメーターでパッケージ越しに測定して **20,000cpm** を超えましたが、現在入手できなくなっています。アスベスト (クリソタイル) が含有されていたためにリコールとなっしまい、交換品 **UF-5** にはトリウムが含まれていないようです。

現在手に入るトリウム含有マンテルとして、株式会社ジャパーナが発売しているサウスフィールドブランドの **SF-2000** 用マンテル **SF-2000MT** と **D-X** ハイパワーランタン **3000** 用の **D-X** ハイパワーマンテルです (図 7)。しかし、同社の似たような製品でも **SF 200MT** や **SF-DX400MT** という製品は全く放射線を出していませんので、注意が必要です (SF-DX400MT に関しては以前はトリウムを含んだ製品もあったようですが、2016 年 1 月に購入した製品には含まれていませんでした)。他にも色々あるのですが全てを検証できていませんし、時期によって内容を変えることもあり得ますので、上記の製品が絶対にトリウムを含有していることを保証する物ではありません。サーベイメーターを持って店頭で確認するか、返品が可能な業者を選んで購入すると良いでしょう。なお、こちらで購入した製品ではやや **D-X** ハイパワーマンテルの方が **SF-2000MT** よりも線量率が高いようで、複数パッケージについて測定しましたがそれぞれ **12,000cpm**, **10,000cpm** 程度でした。また、ピンクに染められている部分とそうでない白い部分がありますが、どちらからも同じように出ています。また、元々がキャンプ用品と言うことで、冬場はほとんど市場に出回っていないため、入手しにくくなります。夏場になると出てくるようですので、その時期に購入すると良いでしょう。α線観察用としてこのマンテルを小さく切った物をサービスで添付しています。

次に入手しやすいのは、ラジウムセラミックボールです。Amazon で **100g 2000 円** 程度で入手可能です (図 8)。線源としての強度はマンテル同様に広窓 GM サーベイメーターで測定して **10,000cpm** 程度で、α線の飛跡も十分観察可能です。丸いボールなので、ワッシャーのような物を台座にしておく良いでしょう。

最も簡単にα線源を入手するには、空気中のラドン娘核種を掃除機で捕集するのがよいでしょう。掃除機は一般的な家庭用の物で十分ですが、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ます。極めて静粛性が高いため話をしながらでも問題無く捕集を行う事が可能です。注意すべき点としては、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します。掃除機の吸い込み口にガーゼを当てて輪ゴムで止めて **10 分** 程度吸引します (図 9)。建物の素材 (鉄筋コンクリートかどうか) や空調の状況などによって異なります

が、広窓 GM サーベイメーターで測定して数 1000cpm 程度の線源が作成可能です。地下室などがあればマンテルよりも高強度の線源も作成可能です。半減期 40 分程度で減衰しますので使用後の処理も安心です。



図 6: Captain Stag ブランドのガスランタン用マンテル M-7909(L)



図 7: ジャパーナ社販売のサウスフィールドブランド D-X ハイパワーマンテル (左) と SF-2000MT (右)



図 8: ラジウムセラミックボールの一例



図 9: 掃除機のノズルの先に輪ゴムでベンコットを取り付けて、空気中のラドントロン娘核種を捕集している様子。

3. 使用方法

3.1 電源ケーブルの接続

9 期型から電源への接続が簡略化されています。図 10 は、Master タイプの本体に繋がっている電源ケーブルです。一番右の白いコネクタの正面からの写真が図 11 左です。このコネクタを、ATX 電源のペリフェラル電源（大）等と呼ばれる、コマーシャルメイテックロックコネクタ（図 11 中）に、図 11 右のように接続して下さい。初めて接続する場合若干硬い場合があります。またも電源からは図 11 中と同じ電源コネクタが多数出ている場合がありますが、どれに接続しても同じです。

図 12 は、チャンバーに付いている LED への給電コネクタの接続状態を、図 13 はコッククロフト型の高電圧ユニットへの給電コネクタの接続状態を示しています。なお、本体ユニットを 2 台セットでお買い上げの場合は、片方のユニットには高電圧ユニットへの給電ケーブルが付いています（Master タイプ）が、もう片方のユニットには付いていません（Slave タイプ）。高電圧ユニットは一台で 2 台の本体ユニットに高電圧を給電できますので、このような構成となっています。

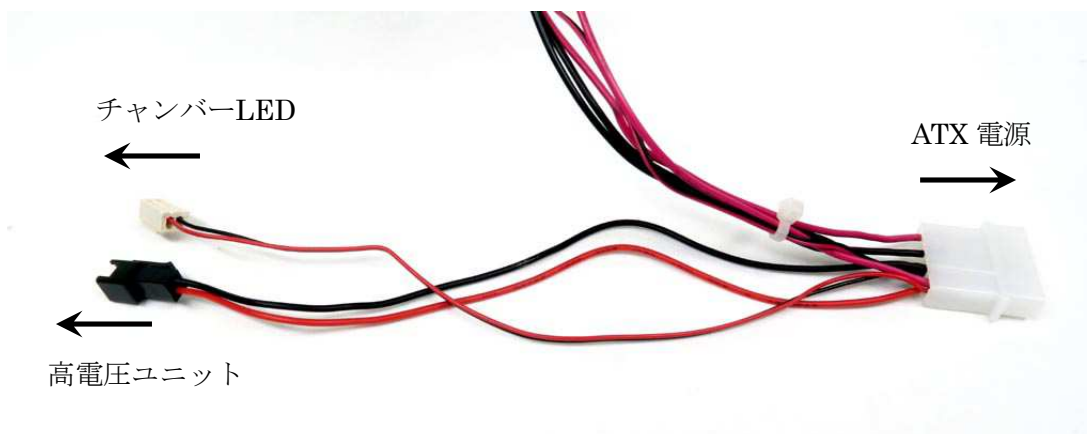


図 10: Master タイプの本体に繋がっている電源ケーブル。

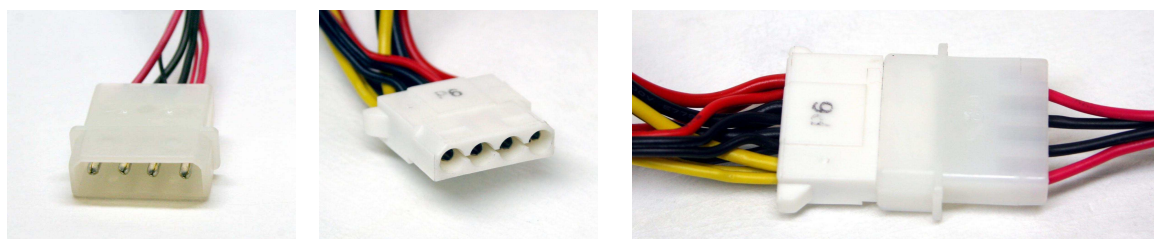


図 11: (図左) 本体ユニットへの電源コネクタ (図中) ATX 電源からのペリフェラル電源コネクタ（大）の例。黄色が 12V、赤が 5V、黒は GND です。(図右) ATX 電源からのコネクタへの嵌合状態の例。

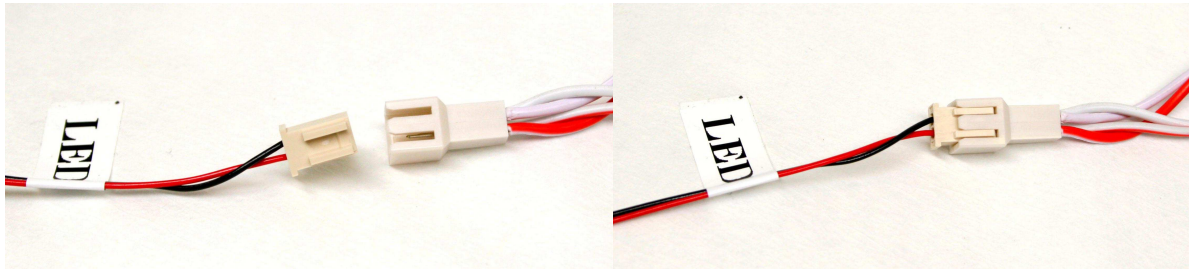


図 12: LED モジュールへの電源接続

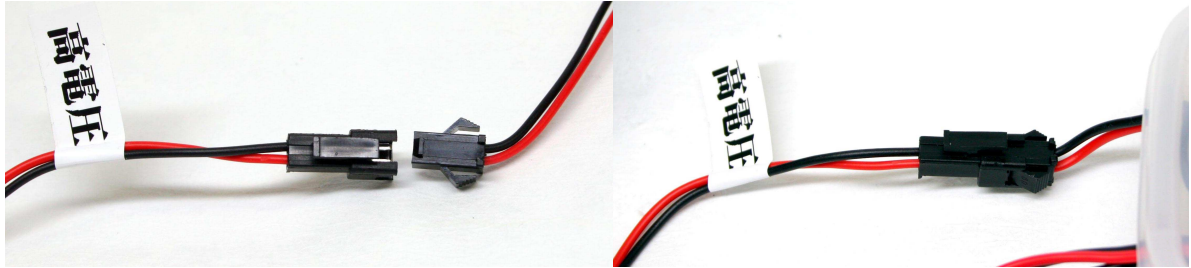


図 13: 高電圧ユニットへの電源接続

3.2 高電圧ケーブルの接続

雑イオン除去のために高電圧を印加するためのケーブルを接続します。高電圧ユニットから出ている高電圧電極のワニ口クリップ（図 3 参照）を、赤の高圧側をチャンバー上部のステンレスメッシュから出ている端子に（図 14）、黒の接地側を CPU クーラーの金属部分に接続して下さい（図 15）（足の部分は他の部分に導通していないので、ヒートパイプ先端などに接続して下さい）。接続の際には、動作時に誤って赤い高圧側の電極に触れてしまわないようにシリコンチューブでクリップの先端と電極を覆い隠すようにして下さい。

[注意] 2.5kV 程度の直流電圧がかかります。電流量は小さいためパチンと痛い程度ですが、驚いて手をぶつけるなどの危険がありますので、注意して下さい。また、**接続時には電源が ON になって居ないことを確認して下さい。**

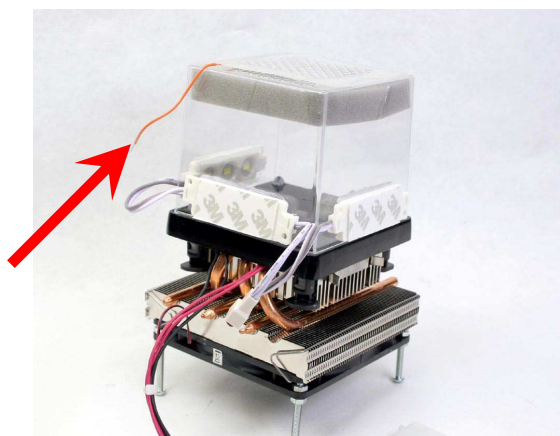


図 14: チャンバー上部のメッシュ電極に高電圧電極（ワニ口クリップ）を繋ぐための端子

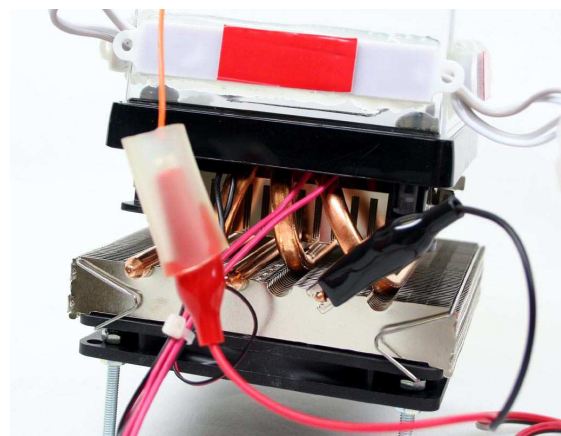


図 15: 高圧側端子及び CPU クーラーの金属部分に高電圧電極（ワニ口クリップ）を繋いだ様子

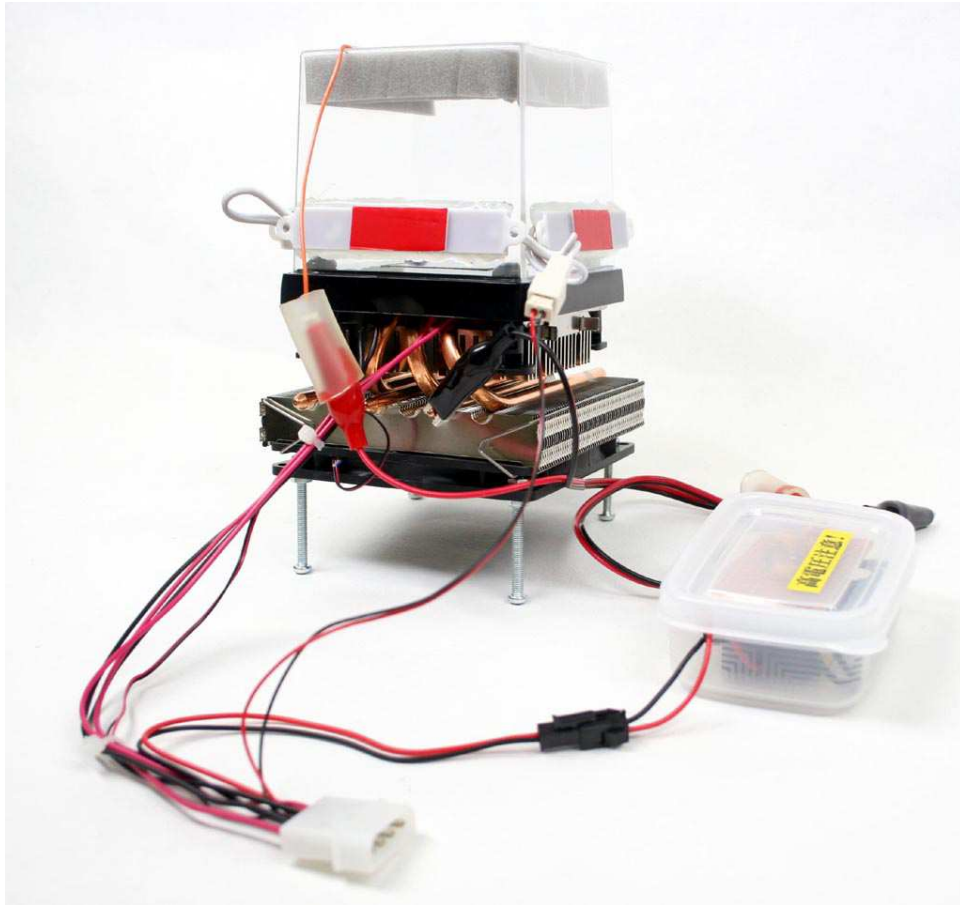


図 16: 本体ユニット、チャンバーの LED、高電圧ユニットを接続した状態。

3.3 アルコールの注入と線源の設置

電源を入れる前に、アルコール、線源の設置を行って下さい。これらの準備が出来る前に電源を投入するとペルチェ素子の上に空気中の水分が結露して氷が張ってしまい、上手く観察できなくなる場合があります。結氷してしまった場合は、一旦電源を切り、氷が溶けてから良く拭き取って再度準備が出来てから電源を投入して下さい。

アルコールは、チャンバー上部のスポンジテープにまんべんなく染みこませて下さい。なお、アルコールを染みこませた状態でスポンジテープを触るとスポンジテープが取れてしまうことがあります。余り触らないようにして下さい。取れてしまった場合は市販のスポンジテープを貼り直すようにして下さい。

α 線源は、ペルチェ素子よりも奥側の台座部分に直接置くようにして下さい。観察を行う側が若干低くなっており、液化したアルコールは手前側に流れるように設計されています。液体のアルコールで濡れてしまっても観察は可能ですが、若干効率が落ちるので、濡れないように上流側に設置します。本製品は過飽和層が極薄く素子表面数 mm の領域にのみ存在しますので、線源を高く上げてしまうと観察しにくくなります。

また、トリウム及びその娘核種を含んだマントルやラジウムボールなどは設置してしばらく経つとラドンガスが出てくるため、線源以外の所から飛跡が飛ぶようになります。ただし、空気中のラドントロン娘核種を捕集したガーゼなどからは、それ以上ラドンガスは出て来ません。

β 線源としてランタンのマントルを使用する場合は、チャンバー内に入れると線源本体及びラドンガスからの α 線が出てしまい、観察しにくくなります。このため、チャンバーの上部線源を設置して、 α 線を遮蔽して観察します(図 16)。 β 線はランダムに方向を変えるため、チャンバー上部に線源を置いて観察しても、ペルチェ素子に平行な過飽和層に沿って走る β 線を観察することが出来ます。

さらに、 β 線を遮蔽するのに十分な厚さ(5mm以上)のアルミ板などを挟むと、 γ 線だけをチャンバー内に入射することが出来ます。 γ 線は物質中で光電子などを叩き出してエネルギーを失いますが、その際に叩き出されたエネルギーを持った電子は β 線と全く同様の飛跡を示します。イベント数は当然 β 線を入れたときよりも落ちるため、十分な強さの線源を用意する必要があります。

全ての準備が整ったら、電源を投入して観察を行って下さい。条件にも依りますが、10数秒程度で飛跡が観察されはじめます(図 17-20)。上手く観察できない場合は、4章を参照して調整を行って下さい。

3.4 使用後のお手入れ

チャンバーはアクリル製ではなくポリスチレン製ですのでアルコールによるひび割れ等は発生しませんが、使用後は、良く乾かして下さい。チャンバー外側はガラス繊維コーティングをしていますが、使用と共に擦り傷等付きますので、プラスチックコンパウンドなどで研磨して下さい。高圧電源は電源を切った直後に触っても放電しませんが、念のため電極をショートさせてから触るようにして下さい。

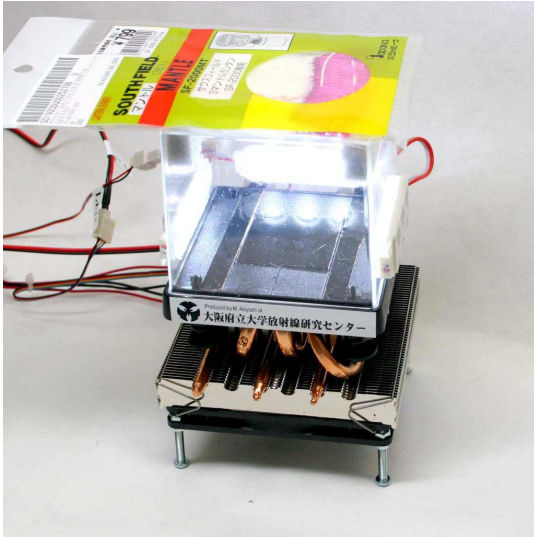


図 17: β 線観察のためにマントル線源をチャンバー上部に設置した状況

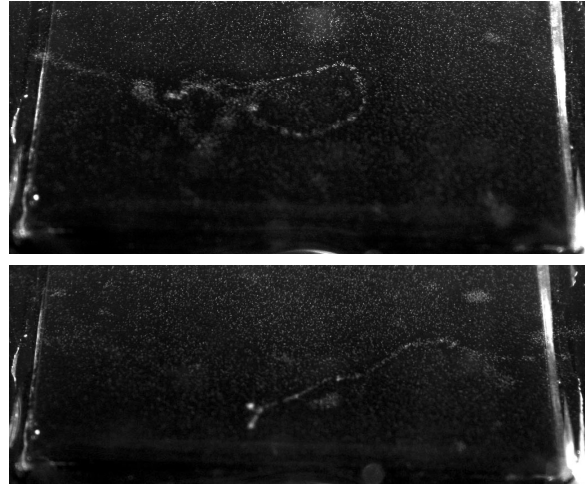


図 18: 観察された β 線の飛跡の一例。一瞬、淡い飛跡しか見られないためじっくりと観察する必要がある

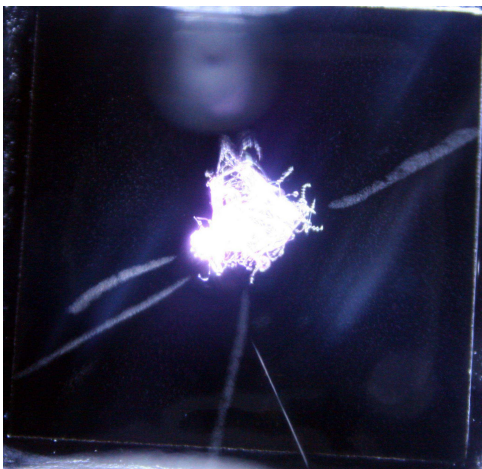


図 19: 観察された α 線の飛跡の一例。線源はランタンのマントル。本体はわざと傾けているので、素子よりも上流側に線源を設置するとアルコールで濡れずに効率的に長い飛跡の観察が出来る。

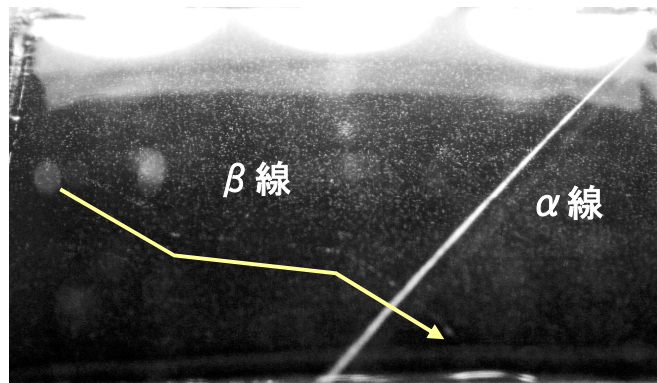


図 20: β 線を観察中に空気中のラドントロンからの α 線が同時に観察された例。はっきりとした直線的な α 線の飛跡とうっすらしか見えず折れ曲がっている β 線の飛跡が比較できる。

4. 上手く観察できない場合

本製品はあらゆる条件で確実に飛跡の観察を可能とすることを目指しており、ペルチェ素子による迅速確実な冷却、高電圧ユニットなどを用いた雑イオンの除去等を行っていますが、様々な要因で飛跡が観察されない場合があります。

1. 冷却不足

冷却を行うペルチェ素子は、上部から下部側に熱を「輸送」する素子です。このため、廃熱をきちんと行う必要があります、高性能の CPU クーラーを使用しています。一枚だけでは性能不足であるため二枚重ねて使用していますが、CPU クーラーのヘッドと一枚目のペルチェ素子の間、及び一枚目のペルチェ素子と二枚目のペルチェ素子の間は高性能の熱伝導グリス (ZAWARD 社 MX-4) を用いて良好な熱接触を確保しています。この間に何らかの原因で異物が入り隙間が空いてしまうと、効率よく熱を輸送することが出来なくなります。本体ユニットの上部を軽く動かしてから CPU クーラーのヘッドに押しつけ、熱接触が回復するか試して見て下さい。それでも回復しない場合は、CPU ファンの説明書に従ってリテンションを外し、現在付いているグリスを綺麗にぬぐった上で、添付の CPU クーラー用のグリスや市販の高性能熱伝導グリスなどを均一に塗り伸ばし、熱接触を確保して下さい。リテンションを締めた状態でも CPU クーラーと黒いベースユニットの圧着テンションが弱い場合、リテンション金具を調整して密着させる必要があります。製造元の放射線研究センター秋吉までご連絡願います。

線源を入れない状態で、細かい霧が観察されるようであれば、冷却は上手く行っていると考えられます。なお、室温が極端に高い状態では素子の冷却が不十分になることがあります。室温が高いとアルコールを含ませたスポンジ部分の温度も高くなり蒸気圧が上がるため、夏場の室温 30℃程度の条件でも観察できることを確認していますが、極端に高温環境では動作の保証は出来ません。空調により室温を下げるようにして下さい。

現在出荷している製品は、素子表面で-40℃以下を達成していることを確認しています(室温 20℃程度の環境)。なお、デジタル赤外線非接触温度計等の製品があると、熱電対の貼付けを行わずに簡単に温度計測が出来、本装置を運用する上で大変便利です。

2. 印加高電圧の不足・過剰

雑イオンを除去するために高電圧を印加しています。インバーター回路を用いて、12V 程度の直流入力電圧から 1200V 程度の交流の高電圧を発生させ、コッククロフト-ウォルトン回路を用いて倍の電圧の、直流の出力を得ています。高電圧にしてしまった後のコントロールは困難ですが、インバーターに入れる前の電圧は容易にコントロールできるため、以前販売していた製品では最大 50Ω の半固定抵抗器を一つ高電圧ユニットに備えていました。現在は、最大電圧で問題無いため、半固定抵抗器は廃止しています。ワニ口クリップ

の赤と黒の端子を近づけると、1-2mm 程度放電するようであれば正常です。

3. 霧田気の調整

本製品が正常に動作している限り、ほぼいかなる環境下に於いても高電圧ユニットの働きで問題無く観察できることが確認されていますが、現在のところ、ストーブを使用している部屋ではしばらく観察が出来ないことが確認されています。これは、飛行機雲のことを思い出して頂ければ理解できるかと思います。霧箱での放射線の飛跡は、飛行機雲にたとえられることが多いかと思いますが、飛行機雲は、過飽和水蒸気中を飛行機が飛び、ジェットエンジンからの排気ガスが凝縮核となって水滴が生成しています。全く同様に、ストーブからの排気ガスが凝縮核となり、エタノールの液滴が生成してしまうのです。簡単には、ガスコンロの炎の十分上の方にチャンバーのフタをかざし（ヤケド、火事に注意して下さい）、上昇気流を入れてから霧箱として動作させてみて下さい。真っ白な霧が観察できます。

現在販売している製品ではチャンバーの密閉度を上げており、ベースユニットの溝にアルコールを垂らすなどして密閉度を上げれば、高電圧ユニットの働きで数分程度で徐々に霧が晴れてきて観察が可能ですが、霧箱を使用する環境でのストーブの使用は、避けた方が無難でしょう。エアコンであれば、全く問題有りません。また、加湿機などによる極端な高湿度も同様の悪影響を与えます。ポットからの湯気を導入したチャンバー内では、嵐のような霧が観察できます。

4. アルコール

アルコールは、スポンジの糊を溶かさないう程度にやや多めに注入した方が観察しやすいです。チャンバー底面にもある程度塗布しておいた方が良いでしょう。本製品では、チャンバー内部でアルコールが自然循環するように設計されており、半日程度の長時間の観察が可能ですが、状況によっては蒸発に伴いアルコールの量が減り、十分な蒸気圧を確保出来なくなってしまいますので、適宜補給を行って下さい。なお、使用するアルコールが経年劣化により酸化、吸水などしていると、上手く観察されないことがあるようです。本来のエタノールの臭いではなく、アルデヒドなどの臭いがするようであれば、新しいアルコールを使用するようにして下さい。変性アルコールは元から様々な不純物が含まれているため、使用しないで下さい。一方で、試薬特級のような純粋なエタノールでなくても、イソプロピルアルコールの入った消毒薬でも全く問題有りません。純粋なイソプロピルアルコールの方が観察自体は綺麗に見えますが、臭いがきつくスポンジテープの糊を溶かしてしまうため、おすすめはしません。

動作中に頻繁にチャンバーを開け閉めすると、空気中の水分が結露して上手く見えなくなることもあります。この場合一旦電源を切ってアルコール、水分を拭き取ってから再度使用するようにして下さい。また、使用し終わった後はチャンバーを空気にさらして完全

に蒸発させるようにして下さい。

通常販売しているチャンバーではスポンジテープは一段ですが、二段重ねにすることにより、さらにアルコール蒸気の供給量を増やすことが可能です。観察しにくくなるデメリットもありますので、適宜試して見るようにして下さい。

5. 線源の強度不足

ランタンのマントルや、トリウムボールなどに含まれる核種は非常に半減期が長いので、減衰を考慮する必要はありませんが、空気中のラドントロンを捕集した場合は条件により（空調などにより換気されてしまっているなど）余り強い線源と成らない場合があります。GM サーベイメーターなどできちんと捕集されていることを確認して下さい。なお、 γ 線のみを測定する線量計では有意な線量率の増加を確認できない場合がほとんどです。 β 線、 α 線を測定できる機種を使用するようにして下さい。

また、線源がアルコールの過飽和層からずれていると、上手く α 線を観察できません。設置位置が高すぎる場合など、調整するようにして下さい。線源がアルコールで濡れてしまうと遮蔽されて余り観察できなくなることがあります。本体はわざと傾けていますのでペルチェ素子よりも上流側に線源を設置することで濡れずにすみ、また素子の長さを一杯に使った飛跡の観察が出来ます。

β 線の観察は飛跡が薄いため十分な強度の線源を使用する必要があります。マントル線源の使用を推奨致します。天板を薄くすることでより高効率に観察可能ですが、現在のメッシュ電極を用いた製品では、この加工を施していなくても十分な数の β 線を観察することが出来ます。気密性を確保し雑イオンの流入を防ぐ上でも、販売されたままでの使用を推奨致します。

6. 周辺が明るすぎる

高輝度の LED により、室内の蛍光灯程度の明るさであれば飛跡を観察可能ですが、余りに明るいと観察しにくくなります。室内を暗くするか、暗箱などを使用してコントラストを上げるようにして下さい。

5. その他

本製品は、放射線教育普及のために開発され、更なる高度化を目指して教育・研究者に有償で配布する研究開発の途上品、という位置づけです。出来る限り高性能、高信頼性となるように作成していますが、絶対に飛跡を観察できることを保証する物ではありません。また、長期間の使用に伴い、チャンバーへの擦り傷、素子表面の塗装のはげ、スポンジテープの脱落などの劣化などが起こり得ます。これらの消耗要素は、ユーザーが各自でメンテナンスすることが可能です。

運用上の活用法、メンテナンスの際に必要な製作上の要素技術については、日本放射線安全管理学会誌 Vol. 16 (2017) p.72-78 と p.79-84 の二報の論文で公開していますので、参照願います。また、メンテナンスに便利な製品をパックにしたメンテナンスセットも販売しています。

放射線教育におけるペルチェ冷却式高性能霧箱の活用

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjrsm/16/2/16_72/_article/-char/ja

ペルチェ冷却式高性能霧箱製作のための要素技術

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjrsm/16/2/16_79/_article/-char/ja

消耗要素以外の、ファンが回らない、ペルチェ素子の温度がどうしても下がらない、LEDが点灯しない、等の問題が起こった際は、至急以下の連絡先までご連絡願います。販売後1年間に限り、無償にて修理、交換を行わせて頂きます。(ただし、お客様の使用上の問題に帰する場合は、有償での対応となりますのでご容赦願います)

本製品は放射線教育普及のために開発されているため、本製品を元にした更なる高性能霧箱の開発を歓迎します。ただし、一切の知的財産権は開発者である秋吉優史に帰属します。商品化して販売する場合は無断での本製品の仕様、機構の使用を固く禁じます。

故障、トラブル時の連絡先

〒599-8570 大阪府堺市中区学園町 1-2 大阪府立大学

研究推進機構 放射線研究センター 准教授 秋吉 優史

Mail: akiyoshi@riast.osakafu-u.ac.jp 、 Tel: 072-254-9852

製品紹介ホームページ

<http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/CloudChamber.htm>

