

宇宙線の飛跡が見える霧箱をつくって観察しよう

名古屋大学基本粒子研究室客員研究員 林 熙崇

[1] 簡単に作れる高感度小型霧箱の製作

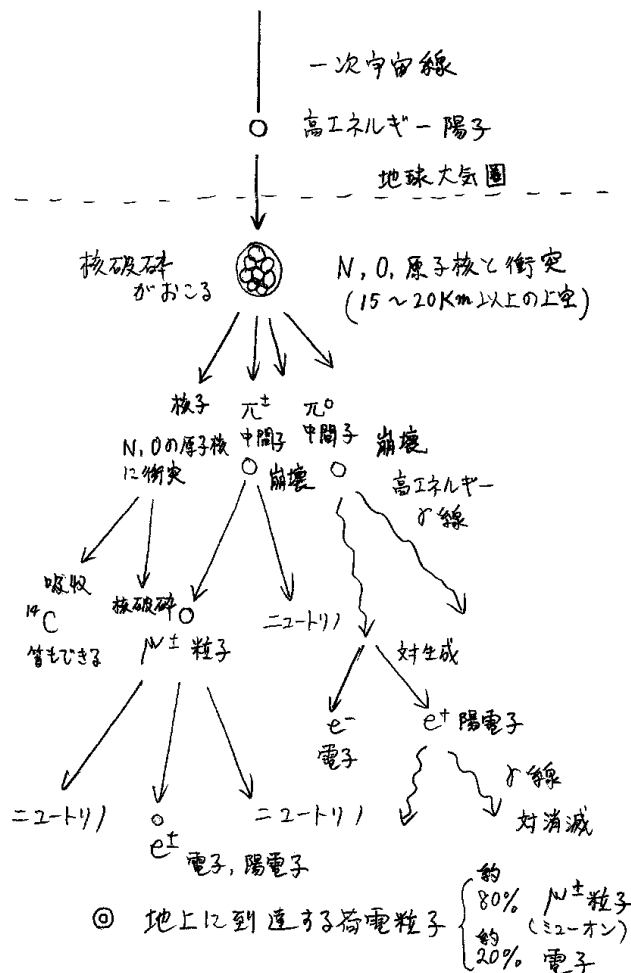
* 高感度霧箱で何が見えるの？

私たちの周囲に絶え間なく降り注いでいる宇宙線

宇宙線や放射線の飛跡を肉眼で直接観察できる高感度霧箱を製作します。開発した高感度霧箱は霧箱内に放射線源を入れなくても放射線の飛跡が数多く見えるのが特徴です。

地球内部から出てきて崩壊し、空気中のごみに付着して浮遊している放射性物質や、宇宙からやってきて、私たちの頭上から降り注ぐ宇宙線をとらえることができます。

下図は上空から地上に降り注ぐ2次宇宙線がやってくる様子です。10km くらいの高度で粒子数が最も増殖し、ミュー粒子、一部の電子、ニュートリノは地上にまでやってきます。



- * 宇宙線や β 線は飛跡の元となる霧箱内で生成されるイオンの発生数が少なく、イオンが多く作られる α 線のように簡単に見えません。
- * すべての放射線を観察できるようにしたのが今回製作する高感度霧箱です。
(この方式の高感度霧箱の開発者名をつけて林式霧箱と名付けます)

1-1 林式高感度霧箱の特徴

1. 深い過飽和層が安定して出来る工夫

- (a) α 線に比べて発生するイオンの数が少ない β 線や宇宙線のミュオンが見えるようにするには、アルコール蒸気が十分な液滴のサイズにまで効率よく成長できなければならぬ。そのためには過飽和度が大きい過飽和層をつくる必要がある。
- (b) 安定した深い過飽和層を作るのに、霧箱底面の気相と液相の境界面が一様になるように底を浅い(5mmくらいの深さ)プール状になったアルコール液で冷却するのが効果的である。(アルコール液はドライアイスで -50°C 以下に冷却する)
- (c) 霧箱上部をポリメチルペンテン材(製造元はリケンファプロ株式会社)のラップフィルムで蓋をする。
(ポリメチルペンテン材ラップフィルムはアルコールとの親密度が低いため、ラップフィルム面でアルコール蒸気が集まってクラスター化することが起こりにくいようだ。その結果クラスター化した蒸気が核になって生じる有害な霧の発生が少なくなり、飛跡が出来やすくなる。)

2. 霧箱の内側(側面)を2重の黒色ラシャ紙で取り囲む。

*このラシャ紙は三役をこなしている。

- (a) 霧箱の外部からの入射光をカットする。霧箱内部の乱反射光を減らす。
- (b) 紙の繊維の毛細管現象で底にある液体のアルコールを上部に持ち上げるポンプの働きをする。
- (c) 上部でアルコールを蒸発させる蒸発器の働きをする。

3 反射光の強度が増すように観察方向から照明光を当てる。

正面からあたる反射光の強度は側面からあたって反射してくる光に比べて約100倍大きい。

* β 線やミュオンは霧箱中でつくるイオンの数が α 線に比べて少ない。そのため成長した液滴の数も少なく、液滴で反射する光量が少ない。従来の α 線の観察で用いられていた側面から照射して上面から観察する方法では反射光が弱く飛跡が見えにくい。

4. 霧箱の底（内側）を乱反射光がより少ないベルベット布で覆う。

* 観察方向（斜め上方）から照明光を当てると、普通の黒紙や黒布でつくった底は、乱反射光がかなり強く、マスクされて飛跡が見えにくい。ベルベット布にするとよく見える。（ベルベット布以外ではノリのついていない植毛紙も同様に使用できる）

* プールになっているアルコール液の表面で反射する光量が多いが、その光は観察方向と反対方向に鏡面反射するので、側面の黒ラシャ紙で吸収されて目に入らない。

5. 霧箱の底（外側）は熱伝導の良い金属（銅、アルミ）の浅い容器にする

1-2 簡単な林式高感度小型霧箱の製作

材料の加工から始めても2時間はかからない。加工した材料を手元に置けば40分で本体完成？ 動作状態の完成した高感度小型霧箱



1-2-1 材料を用意する

1. 段ボールプラスチック（ダンプラ）910mm×910mm×4mm 材（ホームセンター）のサイズが一般的である。

（1820mm×910mm×4mm 材が入手できれば、継ぎ足さずにフレームが出来るので便利。）

2. アルミバット 6号（216×157×30mm）（ホームセンター）



3. ガムテープ（黒） 50mmh 幅（ホームセンター）
4. ベルベット布（黒）（通販もしくは布地専門店一名古屋の場合、大塚屋車道本店）



5. 25mm 幅ダブルクリップ 1箱(20個入り)（ダイソー）



6. 7mm幅のソフトゴムテープ+3.5mm幅のソフトゴムテープ (ダイソー)



7. 黒ラシャ紙(395mm×545mm) 1枚 (東急ハンズ、ホームセンター)



8. 100mm幅ストレッチフィルム1本 (ホームセンター)



9. ポリメチルペンテン材ラップフィルム (生協 (coop) は 300mm 幅、リケンラップフィルム—通販は 450mm 幅で 1 種類ある)

[注意] (無添加ポリエチレンラップフィルムは代用できるが**サランラップ等は不適當**)



品名	食品包装用ラップフィルム
原材料名	ポリメチルペンテン
添加物名	ポリブテン-1(ポリオレフィン)
寸法	幅30cm×長さ20m
耐熱温度	180度
耐冷温度	-30度
使用上の注意	1.油性の強い食品を直接包んで電子レンジに入れないでください。 2.火気に近づけないでください。
事業者の名称	日本生活協同組合連合会
及び住所	〒150-0002 東京都渋谷区渋谷3-29-8 組合員サービスセンター TEL.0120-999-345
製造者	リケンファブロ株式会社 〒101-0063 東京都千代田区神田淡路町2-101

10. 断熱材 {スタイロフォーム材 (厚さ20~30mm) (ホームセンター) で断熱箱を作るのが望ましい。

ただし1~2時間程度の観察であればドライアイスと霧箱を7~10重の新聞紙でくるんだもので間に合う。くるんだ新聞紙の下にさらに新聞紙を厚く敷くと良い。)

11. 燃料用アルコール (ネンアル) (スギ薬局やホームセンター内にある薬局で 500ml が 330 円前後で購入できる。



・エタノールも霧箱に問題なく使えるが 500ml で 1400 円以上と高価、プロパノールも使用できるが販売している薬局が少ない。

《注意》消毒用アルコールは水が 25%入っていて、使用すると霧箱の底が凍って全面真っ白になり、飛跡が見えなくなる。使用不可。)

12. ドライアイス

{1 kg 単位で小売りしてくれる卸店一名 古屋市内だと小島商会 (052-916-2693-北区)、タカギ産業(052-331-6551 中区)、昭炭商事 (株) 名古屋ドライアイスセンター (052-381-1200 港区)、(株) イフェクト (052-331-6821 中区) 等がある。また宅配便 (3~5 kg 以上) でも送料分高いがドライアイスを手に入れる。}

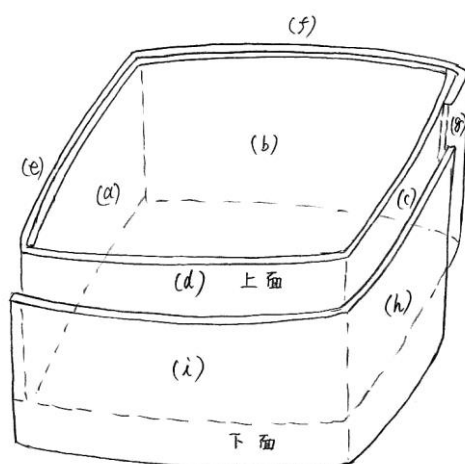
1-2-2 組み立てる

1. (a) アルミバットの底に入る大きさに段ボールプラスチックを折り曲げてフレームを作る。(注意 折り曲げは物差しや板を使って、ずれないように 1 回曲げにする)
(折り曲げやすいようにナイフ等ですじや切れ目を入れるのは厳禁)

(b) 段ボールプラスチックをが 2 重に重なる部分も出来るので、折り曲げる寸法は厚さも考慮して寸法を決める

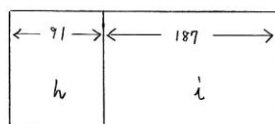
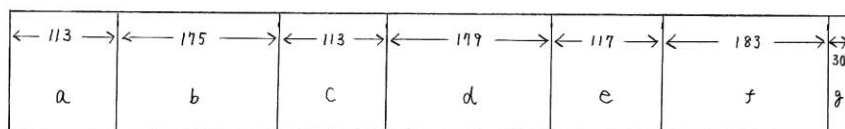
(c) フレームは 2 重にする。太鼓状に膨らんだ状態を保つようにする。

- (d) フレームの高さは 13~13.5cm くらいにする（小型霧箱の場合は短辺の長さより高さが少し高いほうが良い）。
- (e) 継ぎ足す部分で図の (i) の左端のカットは図の g と h の部分をガムテープで接続してから、現物合わせで実施する。
- (f) 横幅 191 mm、奥行き 119 mm、高さ 135 mm くらいのサイズだとうまく入る。この寸法より 5mm ほど幅と奥行きが大きくなるとアルミバット 6 号の平らな部分にうまく入らなくなる→底が浮くので良くない

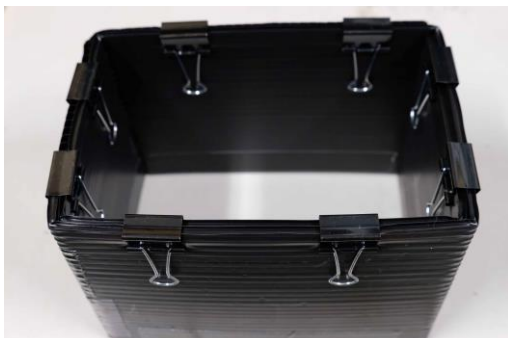


[参考寸法]

910mm×910mm の段ボールプラスチック板(プラバン)から縞目が横向きになる様に、幅約 133mm(段ボールプラスチックのステアの無い部分で切り取る)の板を作る。その板に図の寸法図で折り目の線を引く(1820mm×910mm の段ボールプラスチックの場合は f の 183 mm の次に g と h 部分が重なった寸法 121 mm を取る。最後の i は 185 mm であり)。



2. フレームの下面の各辺を 25mm 幅ダブルクリップ 8 個で固定する(ダブルクリップは奥まで押し込むこと)。

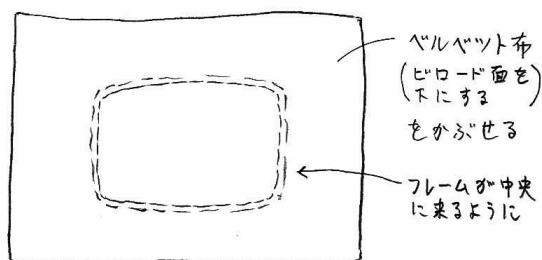


2 の写真



3 の写真

3. フレーム上部(ダブルクリップで止めなかった方)はガムテープでがっちり固定する。
(角の所もガムテープを貼)
4. 7mm幅のソフトゴムテープをフレームの短辺+長辺+短辺の長さ(だいたい 2/3 周くらいの長さ)に切り取り、輪ゴムを 3 個作る。
5. フレームの下部(ダブルクリップで止めた方)を上にして、ベルベット布をビロード面が内側になる様にかける(ベルベット布の大きさは折れ曲がった各辺が 5 cm は垂れる余裕が必要)。



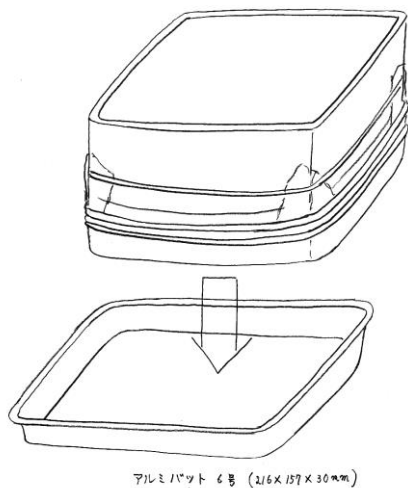
6. (a) ベルベット布を下に引っ張り、布がピンと張った状態で、4 で作った輪ゴムを 2 本かけて、ベルベット布が動かないようにする



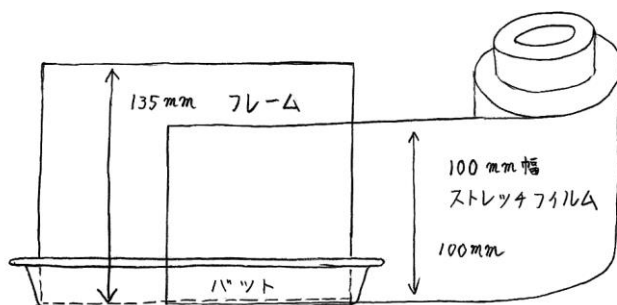
(b) ベルベット布の4角のひらひら部分を。4で作った3本目の輪ゴムで固定する。

7. (a)ベルベット布の面を下にして、フレームをアルミバットに入れる。

(b) フレーム入れた状態で、アルコールを約100mlほど入れて、ベルベット布が十分湿りようにする



(c) ベルベット布全体が十分湿ってから、フレームを押さえた状態でベルベット布の各辺を上方に引っ張り、ベルベット布の底の弛みを取る。(布は濡れると伸びる)



(a) 100mm幅ストレッチフィルムをフィルムの下端とバットとの間隔が5mmほどおく位置で、フレームを上から押さえながら少し張力をかけた状態で3周巻きする。

(b) 3周が終わると少しづつフィルムを上をせり上げていき、フィルムの上端とフレームの上端が一致する位置で少しだけ張力をかけた状態でさらに3周巻きする。

(d) フレームがバットから浮かないように上から軽く押さえた状態で、アルミバットとフレームをストレッチフィルムで、写真のようにフィルムを強く引っ張りながら3重巻にして、両者を一体に固定する

(上図では続けて上まで巻くように記述している。しかし上側は張力を強く

かけてはいけない。それで初心者はストレッチフィルムをここでカットする方式にする)



(d)の写真



(e)の写真

(e)フレーム内部を見てベルベット布が弛んでいなければ、上側のフレームにストレッチフィルムを3重に巻きます。(大きく弛んでいれば、ベルベット布を引っ張ってたるみを取ってから上に巻き上げていく)。

[重要] 引っ張り過ぎるとフレームが変形するので上部は弱い張力で巻くこと
ストレッチフィルムがフレーム上端から出ないように注意してフレーム上部を3周巻く。

* 霧箱本体の組み立ては終了です

1-2-3 断熱箱を作る

霧箱で長時間きちんとした観察を行うには次ページの図のような断熱箱を作って観察するのが良い。

注意 (図の断熱箱の寸法は霧箱のサイズに比べて長方向に少し長い。

これはドライアイスの寸法に合わせたからで、短くしない方が良い)

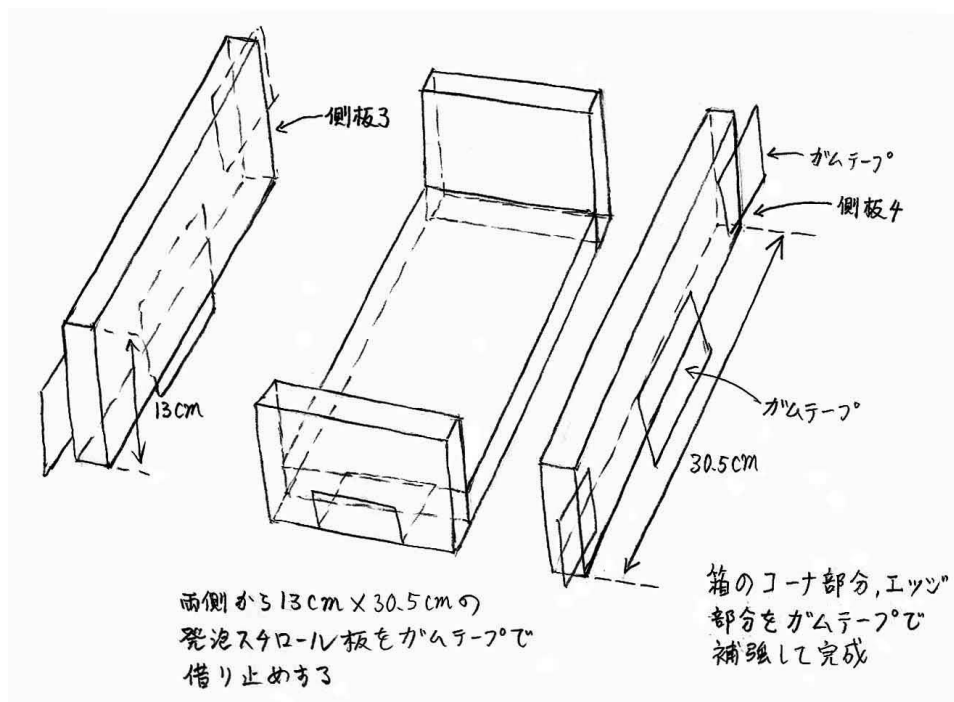
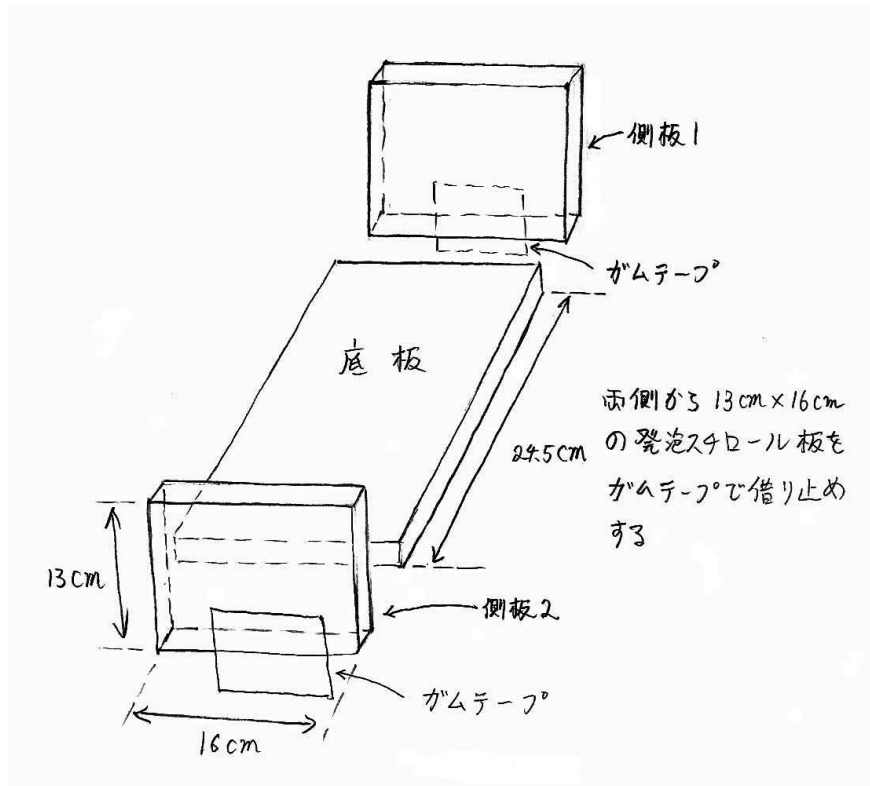
日本ではドライアイスの寸法が**12cm×24cm**で、厚さが**2cm**のものが質量**1kg**、厚さが**4cm**のものが質量**2kg**となっている商品が多く流通している。このサイズのドライアイスのカットしないで、そのまま使用できるように断熱箱のサイズを決めた。

断熱材のスタイロフォーム板(厚さ20~30mm)(建築用断熱材)や発泡スチロー

ル板（厚さ30mm）を図の寸法にカットして、発泡スチロール等をあまり侵さない接着剤で接着する。

ガムテープで仮止めした後にガムテープで補強して組み立てる方法もとれる。

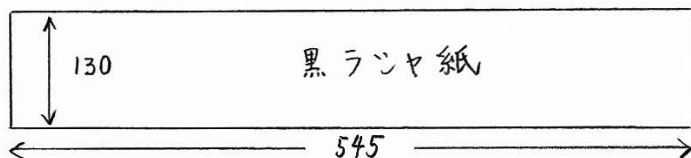
加工性と断熱性はスタイロフォームの方が発泡スチロールより大幅に良い。



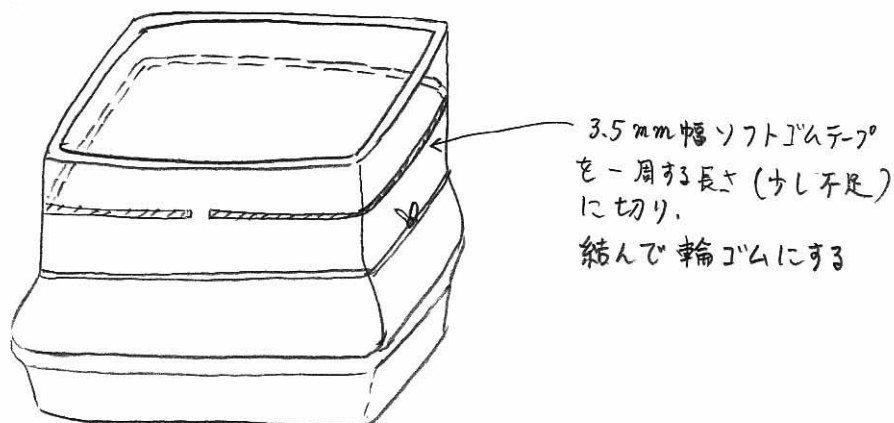
1-2-4 林式高感度霧箱を動作させる

① 準備する

(a) 図の寸法の黒ラシヤ紙を2枚用意する



(b) 3.5~5mm 幅のソフトゴムテープを下図のようにカットして、結んで輪ゴムにしたものを一本用意する



(c) 燃料用アルコール(ネンアル)を約 400ml 用意する



(d) ポリメチルペンテン材のラップフィルムを用意する



② 断熱箱(スタイロフォーム材)にドライアイスを入れてその上に霧箱を乗せる。

(新聞紙を断熱箱として用いるときは 10 枚くらい重ねて広げた新聞紙の上にドライアイスを置き、製作した霧箱をその上に乗せて、周囲の新聞紙で包む。⑤の段階が終わってから新聞紙が広がらないように紐等で固定する(霧箱をくんだ新聞紙の下に、さらに新聞紙の束を敷くと断熱がさらに良くなる)

③ 燃料用アルコール (ネンアル)を霧箱に入れる (200~250 ml)

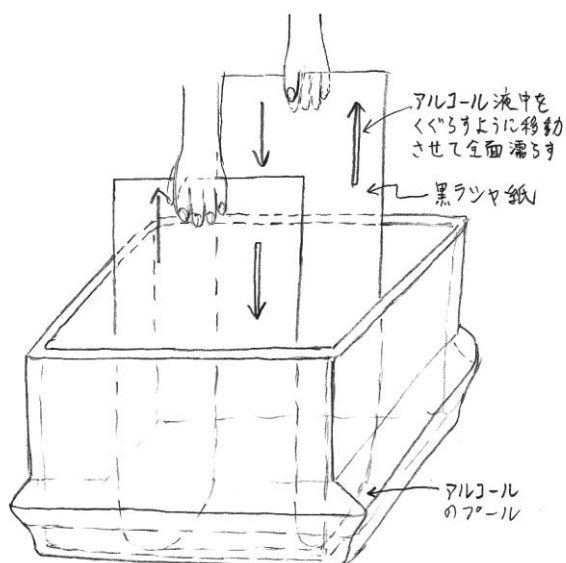


②



③

④ 黒ラシャ紙にアルコールを含ませて、霧箱の内側面に貼る



(a) 底のアルコールプールに黒ラシャ紙が上図のように浸かる状態にして、浸った状態でラシャ紙を図のように上下に移動させて、ラシャ紙全体(端まで)がアルコールでべったり濡れた状態にする (使い捨てのポリ手袋等をして上の作業をすると良い)。

- (b) 濡れたラシヤ紙の濡れを利用して霧箱の内面に貼り付けていく。(4角は貼り付けないで丸く放置する)
- (c) 1枚目のラシヤ紙の貼り付けが終わったら、2枚目も1枚目と同様に全体をアルコールに浸してから、1枚目の上から貼っていく(くっつく動きにくいので端から貼っていく)
- ⑤ 底のベルベット布がアルコール液表面から浮き出て、**干潟が出来ている場合はアルコールを追加して干潟が完全に液の中に隠れるようにする。**
- ⑥ ポリメチルペンテン・ラップフィルムで蓋をし、しわがよらないように引っ張ってピンとさせ、**3.5~5mm幅のソフトゴムテープの輪ゴムで固定する。**
 注意 (霧箱の上部ストレッチフィルム面にラップフィルムがくっつくので、くっつきを利用して軽く引っ張りながらピンと張って、折り曲げると仕上がりがきれいになる)
- ⑦ **LED** ライトを観測者に近い方のラップの上に置き、照明光の中心が**20~30度**くらい斜下の前方に向くように置く
 (LEDライトから出ているコードを前後させて調整すると簡単にできる)

[明るいLED懐中電灯を用いても観察できる。]

観察方向から霧箱内部を照らすと放射線源を入れていないにもかかわらず、霧箱内を飛び交っている宇宙線や環境放射線のβ線等が観察できる。



⑥



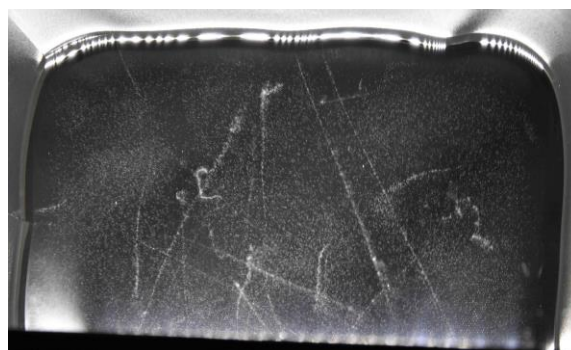
⑦

- ⑧ LEDライトの上に遮光用の黒紙をかぶせる。コネクタを12V電源アダプターにつないで点灯する。
- ⑨ ドライアイスで冷却開始してから10~15分ほどすると飛跡が見えてくる。

(直線や、くねくね曲がった糸くずのように見える細い霧の線が現れる。
それらが宇宙線や β 線の飛跡である)



⑧



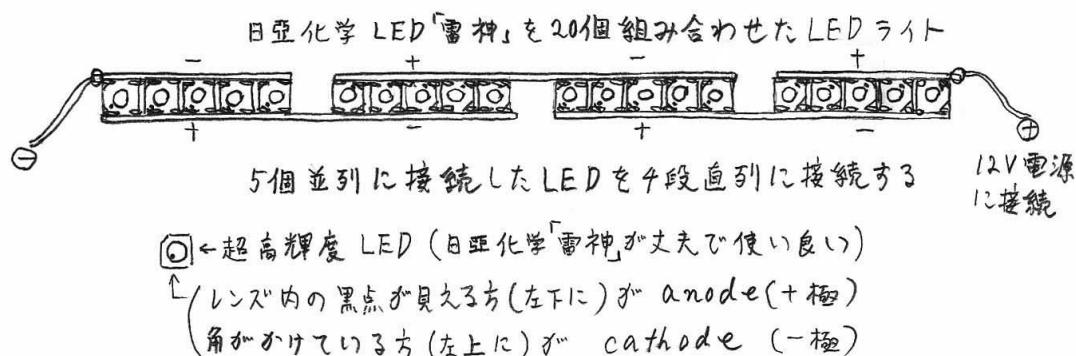
⑨

[補足 1]

LED ライトの製作

懐中電灯では全面を同時に照明できないので、飛跡をきちんと観察できない。
霧箱内を全面照明できる明るい LED ライトが必要である

日亜化学の明るい白色 LED を用いた霧箱用の LED ライトの製作方法を紹介します



LED を並べて丈夫な LED ライトにする方法は 2 種類ある

- (a) 21cm 長のユニバーサル基板を LED が並ぶように細長くカットする。その基板に LED を 20 個さしこみ、スズメッキ線 (0.5mm) で配線して半田付けする。

明るい LED ライトが出来る。

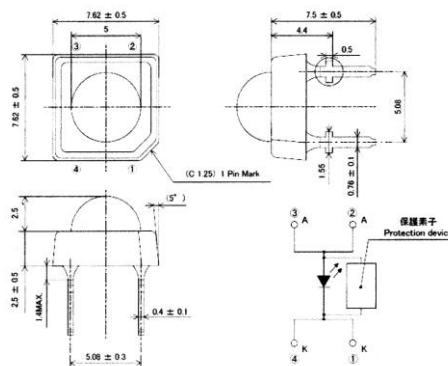
この方式の LED ライトは機能的にベストであるが欠点もある。製作するとき、不要部分の基板が出来ること、基板カットに手間がかかること、基板代が高いこと等である。

- (b) 基板の加工無しで安く作る方法がある。割りばしに、LED 20 個を図のように 5 個組

単位で、割りばしに挟んで固定する（LED の 4 本の足を利用して挟む）。その足を図のようにスズメッキ線（0.5mm）で配線し、半田付けして完成させる。

これも明るい LED ライトになる（少し太っちゃうのが欠点）。

日亜化学の雷神 LED のカタログ



この LED ライトを 2 本並列に並べて霧箱内を照明すると、蛍光灯の下でも飛跡を十分観察できる明るさになる

(写真は細長くカットしたユニバーサル基板に LED をセットしたもの)



電源は市販のアダプター型の 12V、1 A の直流電源が良い。

注意・(LED ライトのコードに電源アダプターに適合するメスコネクターをつけておく)



《注意》 霧箱にはネンアル（燃料用アルコール）を使用しています。

引火の危険性があることを頭に入れて実験しましょう。

[補足 2] 《重要》

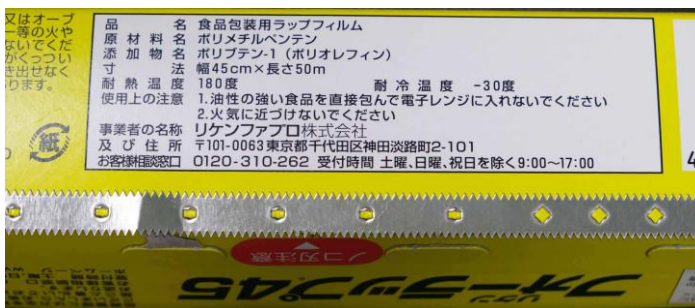
霧箱の上面を覆うラップの材質は霧箱の性能に大きく影響を与える。

(添加物等が大きく影響しているのではないか?)

◎霧箱上面のラップとして良かったのは写真のようなポリメチルペンテン材のラップフィルム、それに次ぐのが無添加ポリエチレンのラップフィルムやストレッチフィルムであった。



品名	食品包装用ラップフィルム
材料名	ポリメチルペンテン
添加物名	ポリブテン-1(ポリオレフィン)
寸法	幅30cm×長さ20m
耐熱温度	180度 耐冷温度 -30度
使用上の注意	1.油性の強い食品を直接包んで電子レンジに入れないでください。 2.火気に近づけないでください。
事業者の名称	日本生活協同組合連合会
及び住所	〒150-0002 東京都渋谷区渋谷3-29-8 組合員サービスセンター TEL.0120-999-345
製造者	リケンファブロ株式会社 〒101-0063 東京都千代田区神田淡路町2-101



- ・塩化ビニール素材のラップが最も悪かった、塩化ビニリデン素材のラップ（クレラップ、サランラップ）も良くなかった。
- ・ラップの添加剤も原因の一つになっている。同じポリエチレンラップでも無添加ポリエチレンラップと、添加剤使用ポリエチレンラップとで差が出た。

1-3 霧箱でなぜ宇宙線の飛跡が見えるのか

宇宙線や素粒子の飛跡をとらえて研究するための道具は、さまざまなものが考えられ実用化されてきている。霧箱はその中でも長い歴史を持つ測定器の一つである。

ほとんどの物質は、気体、液体、固体とその有り方（相）を変化させる。例えば水では、大気圧下では、0度で凍って固体になり、100度で沸騰して気体になる。一方、蒸発と液化は水面ではいつも起こっており、水分子が空気中へ蒸発する過程が起こると同時に、蒸発した水分子が液体に戻る過程も進行している。

密閉した容器中では、この蒸発と液化の過程が平衡状態になっている。このとき、水面の上の空気中に含まれる水蒸気の量を**飽和水蒸気量**という。（飽和水蒸気量は温度に依存していて、温度が高いほど多くなる。）

何らかの原因でこの飽和水蒸気量より多い水蒸気が存在する状態が起こることがあり、これを**過飽和状態**と呼ぶ。過飽和状態はきっかけがあると、本来の飽和状態に戻るが、その際に余分の水蒸気が液化される。

この液化のきっかけは、水蒸気中に**核**になるものがあると起こりやすく、このような核になるものを**凝結核**と呼んでいる。凝結核に水蒸気が凝結していき、水滴が目に見える大きさまで成長すると、霧滴、あるいは雨粒と呼ばれるものになる。

放射線が空気中を通過すると、空気が電離されてイオンができる。アルコール蒸気が過飽和になっている状態だと、そのイオンが凝結核となって目に見える大きさまで液滴が成長する。液滴は放射線が通った後を連なっているから、飛行機雲のように放射線の飛跡が目に見える。これが霧箱である。

過飽和状態をつくる方法として静的につくる方法と、動的につくる方法がある。

世界で最初に霧箱を考案したウイルソン（イギリス人）は動的方法を用いた。動的方法の霧箱はウイルソン霧箱とよばれていて、ピストンやゴム幕などを瞬間的に動作させて、容器内を減圧する方法である。気体の断熱膨張によって温度が低下し、瞬時に過飽和状態が実現する。

この霧箱は放射線が霧箱内に入る（イオンが出来る）タイミングと、断熱膨張のタイミングが同期しないと飛跡ができない。またメカニカルな装置が必要。

*今回製作した霧箱は上が温かく、下ほど温度が低くなっている気体中に

アルコール蒸気を拡散させて、静的にアルコール蒸気の

過飽和状態をつくる霧箱である。

この方式の霧箱を拡散型霧箱とよぶ。

*飛跡が見える場所が霧箱の下の方になるのは、アルコール蒸気が過飽和状態になる位置が容器の下の方になるからである。

* 林式拡散型霧箱の動作を説明する

① 過飽和層の形成

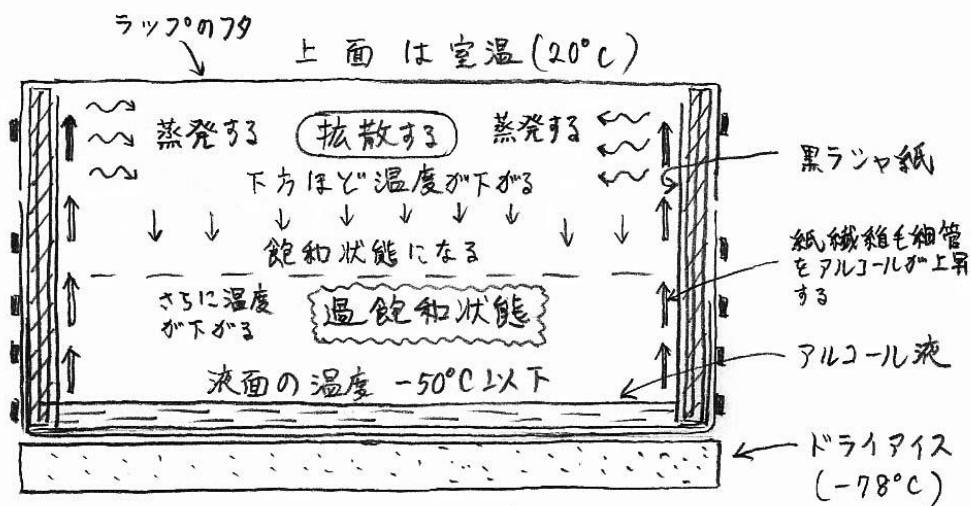
(a) 段ボールプラスチック容器の中で、**上方**のラップフィルム面は室温の空気に接して**温められている**。下方のアルコール面はドライアイスで**-50℃以下に冷却されている**。

(b) 〈下ほど気体温度が低い〉 ⇒ 〈下ほど気体密度が大きい〉 ⇒ 〈下の気体が**重く、上の気体が軽い**〉という質量分布になるので**対流が起こらない**。

(c) 上面近くで蒸発したアルコール蒸気は、**拡散によってのみ、下方へ移動していく**。下がるにつれて冷却されていくので、**いずれかの場所で過飽和状態が実現する**。

② 飛跡の核になるイオンの形成

- 荷電粒子は大きなエネルギーを持っている。荷電粒子が気体中を通過すると、気体を構成する原子の電子が軌道からはじき出されて、原子はイオン化する。
- 空気中では窒素分子が多くイオン化される（酸素分子は 1/5 の確率で起こる）→窒素原子は+イオンになる。
- そして、はじき出されて原子外に去った電子の多くが酸素分子に付着して -イオンになる。



- ② ドライアイスで冷却された下部の過飽和層では+イオンと-イオンを核にしてアルコール蒸気が凝結する。液滴が 0.1 mm くらいのサイズに成長するまで凝結が一気に進む。
- ③ イオンが荷電粒子の通過した道筋に出来るので、凝結した液滴が連なって飛行機雲のような飛跡になる。
- ④ 飛跡になった液滴は重いので、雨となってアルコールの海に落下する。
- ⑤ アルコールの海のアルコールは側面のラシャ紙中を毛細管現象で上昇する。上部に達したアルコールはそこで蒸発する（上部は室温である）。
- ⑥ 蒸発したアルコールは拡散し、下降して過飽和層を作る。そこで荷電粒子がつくったイオンを核にして、液滴に成長して飛跡を作る。そして落下する。
- ⑦ このようにこの霧箱は循環型になっていて、アルコールの補給無しで、安定して、荷電粒子の飛跡をドライアイスの冷却が終了するまでつくり続ける。