

簡単高性能霧箱を作って宇宙線の飛跡を見つけよう

名古屋大学基本粒子研究室客員研究員 林 熙崇

【宇宙線が見える？】

宇宙線の多くは原子よりもさらに1000万倍以上小さい素粒子と呼ばれる電気を帯びた粒子です。とても小さいので、最大の拡大率を誇る電子微鏡でも見えません。顕微鏡でも見えない大きさの素粒子ですから、宇宙線そのものは見ることが出来ません。しかし宇宙線が通った跡は見る事が出来るのです。

皆さん飛行機雲を知っていますね。青い空を高高度で飛んでいる飛行機は肉眼ではほとんど見えませんが、飛行機が飛行機雲を引いていると飛行機本体は見えなくても飛んでいる位置がすぐわかります。



宇宙線の飛行機雲をつくる装置が霧箱です。



高感度大型霧箱中を水平に近い角度で通過した宇宙線の飛跡

飛行機雲は -50°C くらいに温度の下がった高い空で出来ます。温度が低い
ため、水蒸気が飽和水蒸気の状態を乗り越えて**過飽和状態**（その温度では水蒸気
が気体で存在できる満杯状態以上に水蒸気が存在する状態）になっている空間
を飛ぶ飛行機のジェットエンジンから放出された燃焼ガス中の多量の微粒子が
核になって周囲の水蒸気がドバッと集まり、目に見える雲になったものです。

**霧箱で宇宙線の飛行機雲が出来る原理は上下が逆さになりますが、上空にで
きる飛行機雲と似ています。**

- ① 霧箱の下部をドライアイス（ -78°C ）で -50°C 以下に冷却します。
- ② 霧箱上部からアルコール蒸気が拡散します。
- ③ 霧箱内を拡散するアルコール蒸気は下ほど温度が低いので、下方に向か
う途中で飽和状態になり、さらに下がると過飽和状態になります。
- ④ 宇宙線が空気中を通ると、通り道にあった窒素や酸素の原子が電離さ
れ、イオンになります。
- ⑤ 過飽和蒸気の中で宇宙線によるイオンができると、イオンが核になって
アルコール蒸気がドバッと集まり（100万個以上か）、目に見える大き
さのアルコールの液滴に一瞬で成長します。
- ⑥ 宇宙線が通過した後がアルコールの小さい液滴の列（飛行機雲）になっ
て見えます。

宇宙線が通るとイオンができる

宇宙線の粒子は多くが電気を持っています。物質を作る原子は中心に+の電
気を持つ原子核があり、原子核から遥かに離れた外側を-の電気を持つ電子が
雲のように広がって取り囲んでいます。そこへ電気をもった宇宙線がやってく
ると電気力（引力もしくは斥力）で電子を原子の外へ飛ばしてしまいます。電
子が抜けた原子は「電離した原子」＝「イオン」となります。

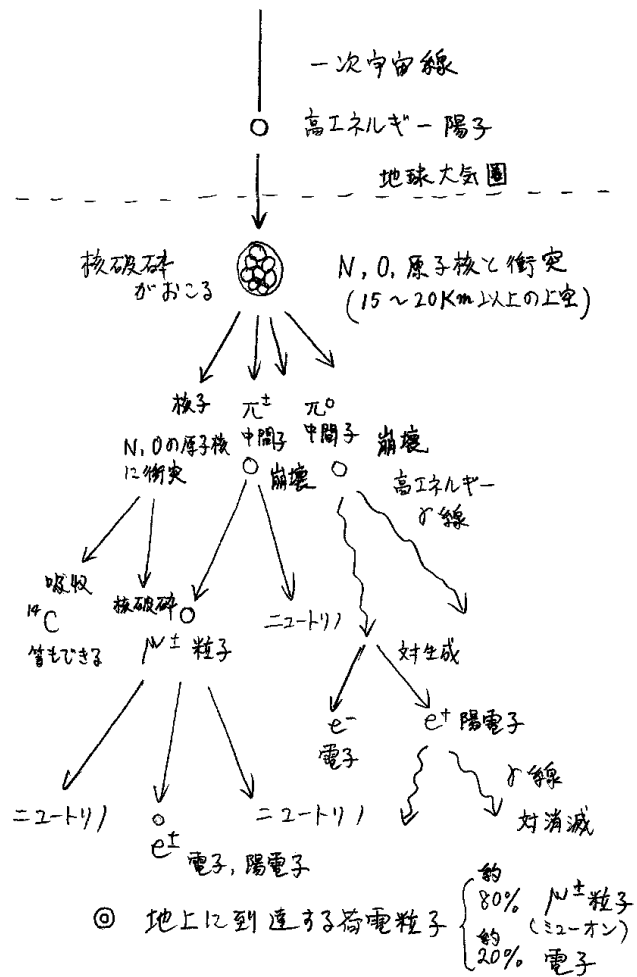
*** 高感度小型霧箱で宇宙線が見える**

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線は霧箱内で生成されるイオンの発生数が少なく、飛跡の元となるイオンが多く作られるα線のように簡単に見えません。
- * 宇宙線やβ線の飛跡もきれいに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 林式高感度小型霧箱の製作

1-1 材料を用意する

1. 段ボールプラスチック (ダンプラ) (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. トースター用アルミホイルケース (6枚セット ダイソー)



3. ガムテープ (黒) 50mm幅 (ホームセンター)

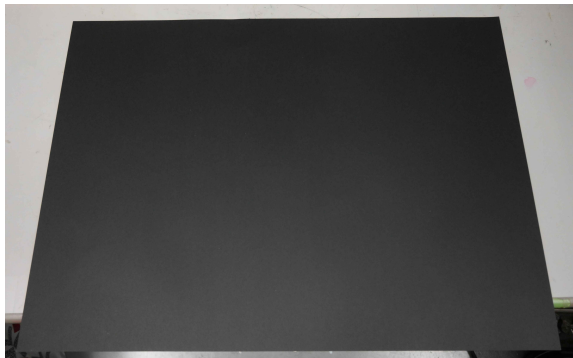
4. ベルベット布 (黒) (通販もしくは布地専門店一名古屋の場合、大塚屋車道本店)



5. 8~10 mm幅のソフトゴムテープ+5mm幅のソフトゴムテープ (ダイソー)



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



7. 100mm幅ストレッチフィルム1本 (ホームセンター)



8. ポリメチルペンテン材ラップフィルム {生協 (coop) 300mm幅}
注 (ポリエチレンラップにも利用できるものがある)



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。
事業者の名称及び住所	日本生活協同組合連合会 〒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	リケンファプロ株式会社 〒101-0063 東京都千代田区神田淡路町2-101

9. 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。)

10. 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て最良だが、500mlで1400円以上と高価、
イソプロパノール（IPA）も問題なく使用できるが、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。）

11. ドライアイス

{1kg単位で小売りしてくれる卸店

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（3~5kg以上）でも送料分高いがドライアイスを手に入れる。}

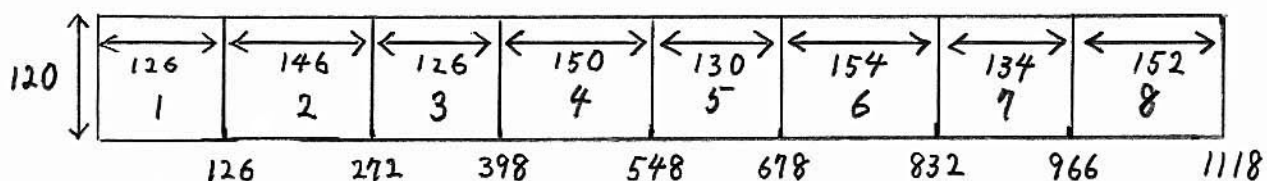
1-2組み立てる

- (a) トースター用アルミホイルケース（**6枚重ねで用いる**）の底に入る大きさにダンボールプラスチックを折り曲げてフレームを作る。
- (b) （注意1 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）
- (c) （注意2 段ボールプラスチックを2重に重ねて用いるので、折り曲げる寸法は厚さも考慮して寸法を決める）

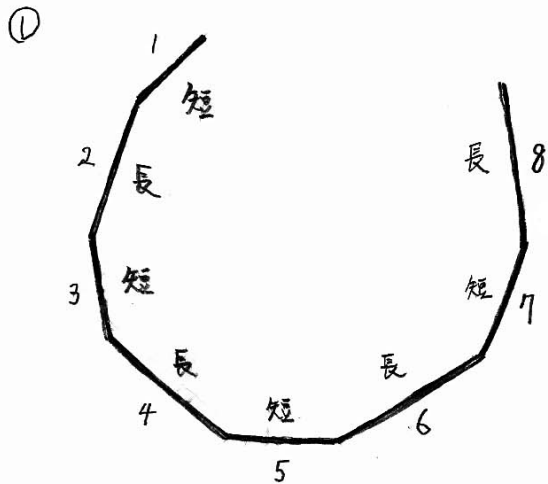
(d) フレームは太鼓状に膨らんだ状態を保つようにする。

(e) フレームの高さは12~13cmくらいにする。

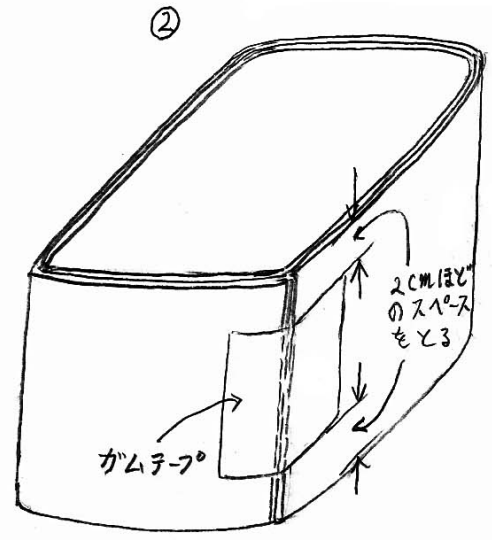
(f) ダイソーのトースター用アルミホイルケースに入るダンボールプラスチック（ダンプラ 厚さ4mm）の寸法（単位 mm）



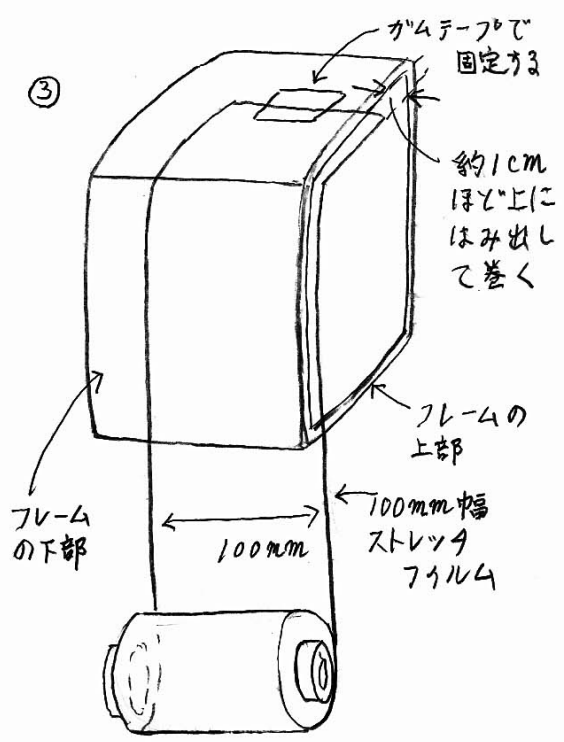
上図の寸法で曲げたダンボールプラスチックを用いて次のイラスト図に従って作ると簡単に霧箱本体が出来る。



①
ダンボールプラスチックを折り曲
げてフレームをつくる
(1と5が重なるように折り曲げて
いく。ダンフラ2重のフレームになる)

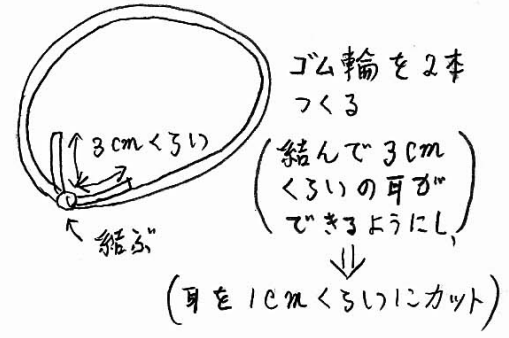
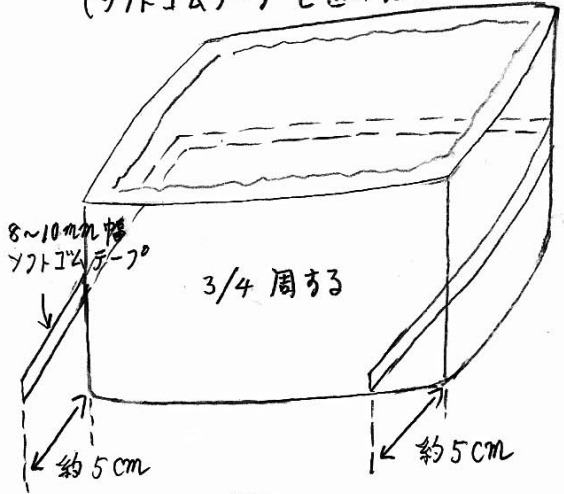


②
ゴムテープでフレームの端を固定する
(図のように上下2cmは貼らない)

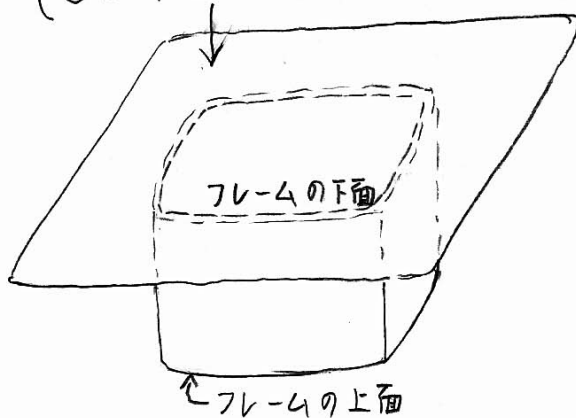


③
フレームの上部にした方に、外側に約
1cmはみ出さして、ストレッチフィルムを
強く3~4回巻きつける。

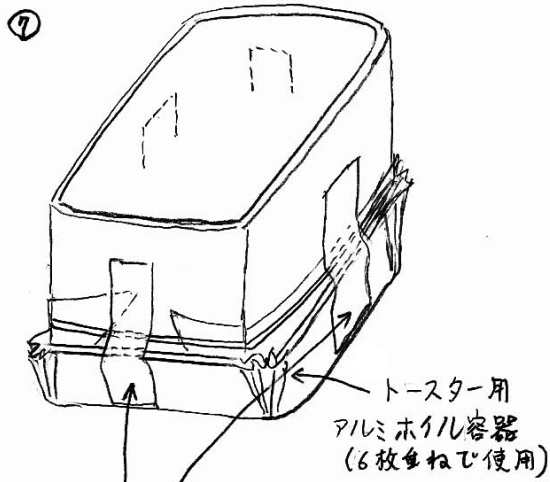
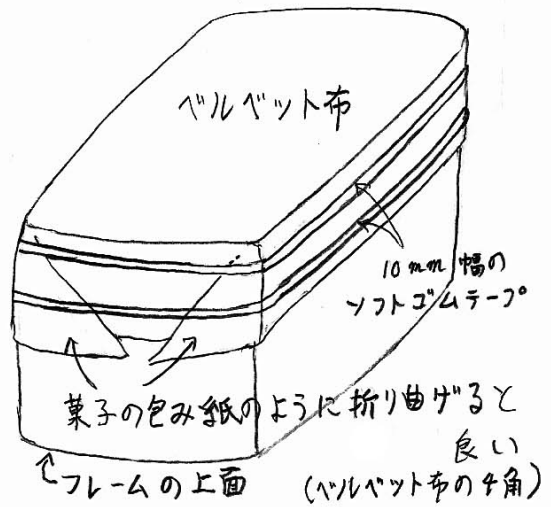
④
8~10mm幅ソフトゴムテープで
輪ゴムを2本つくる
(ソフトゴムテープを円の長でカットする)



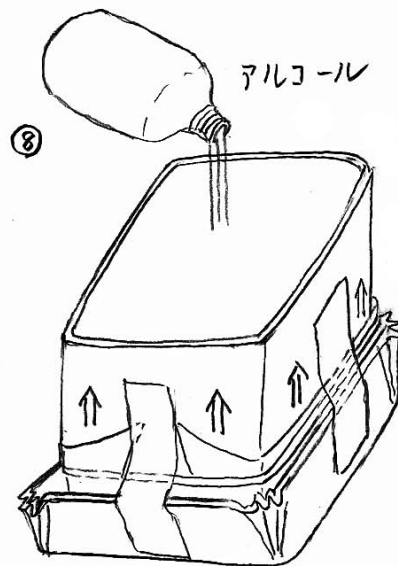
- ⑤ フレームの下面を上にして、ベルベット布をその上に置く
(ヒロード面が下側になるように置く)



- ⑥ ベルベット布をソフトゴムテープ2本でフレームに固定する



約10cm長の養生テープ4片でフレームとトースター用アルミホイル(6枚重ね)容器とを固定する



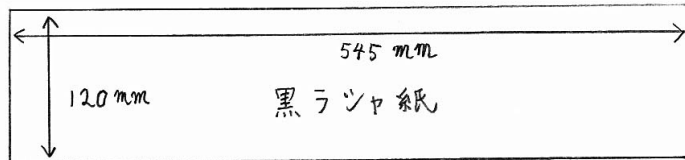
- a. アルコールを300~350ml入れる
- b. ベルベット布にアルコールが十分しみ込んでから(30秒以上待つ)ベルベット布の上端を上方に引っ張り、(フレームを上方に押し上げた状態で)底のベルベット布を平にする

⑧で霧箱本体の組み立ては終了です

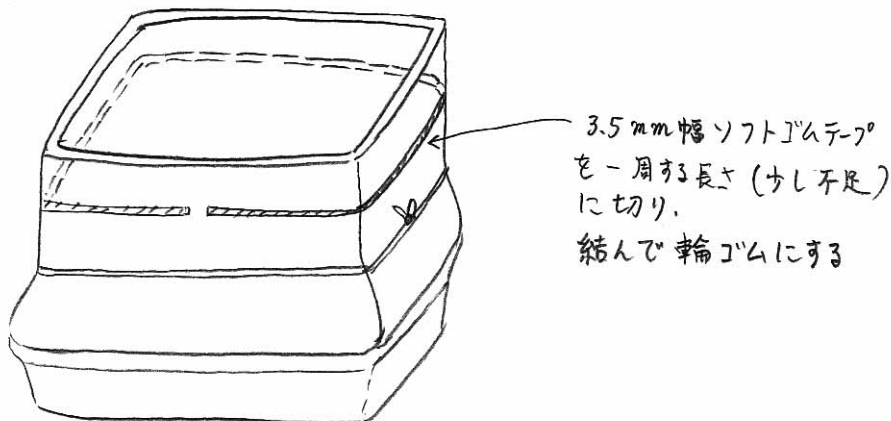
1-3 林式高感度霧箱を動作させて飛跡を観察する

1-3-1 準備するもの

- (a) 黒ラシャ紙を1枚用意する（ラシャ紙の幅は霧箱のフレームの高さに合わせる（製作例のものだと120mmにする）



- (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)かプロパノール（IPA）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

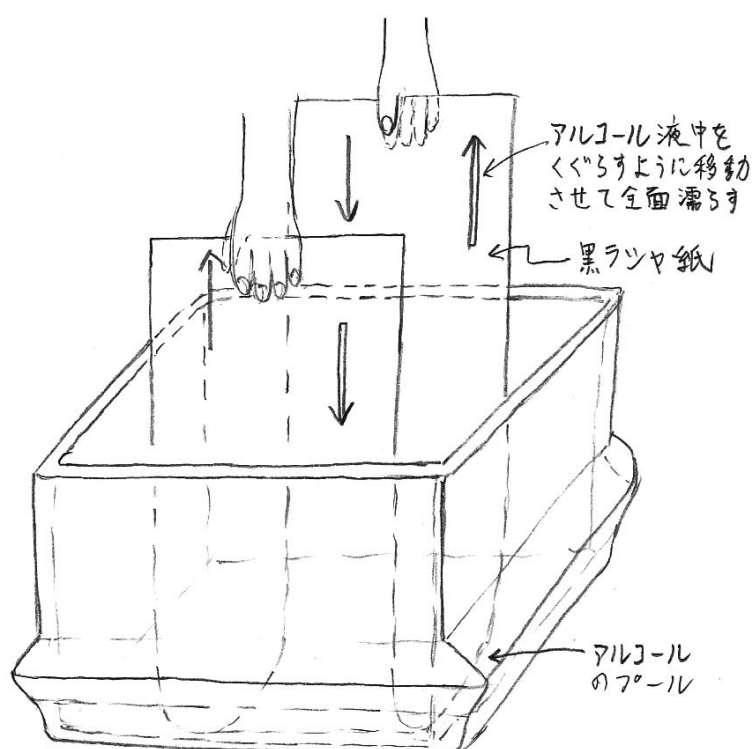


(e)高輝度強力LED懐中電灯を用意する

1-3-2 霧箱を動作状態にセットして飛跡を観察する

(組み立て完了⑧から続く)

⑨黒ラシャ紙にアルコールを含ませ、霧箱のフレーム内面に貼り付ける



(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

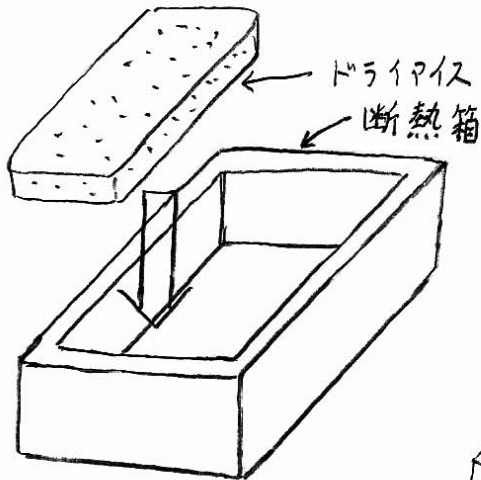
ラシャ紙を図のように上下に移動させて、ラシャ紙全体(端まで)が
アルコールでべったり濡れた状態にする

(使い捨てのポリ手袋等をして上の作業をすると良い)。

(b) 濡れたラシャ紙の濡れを利用して霧箱の内面に貼り付けていく。

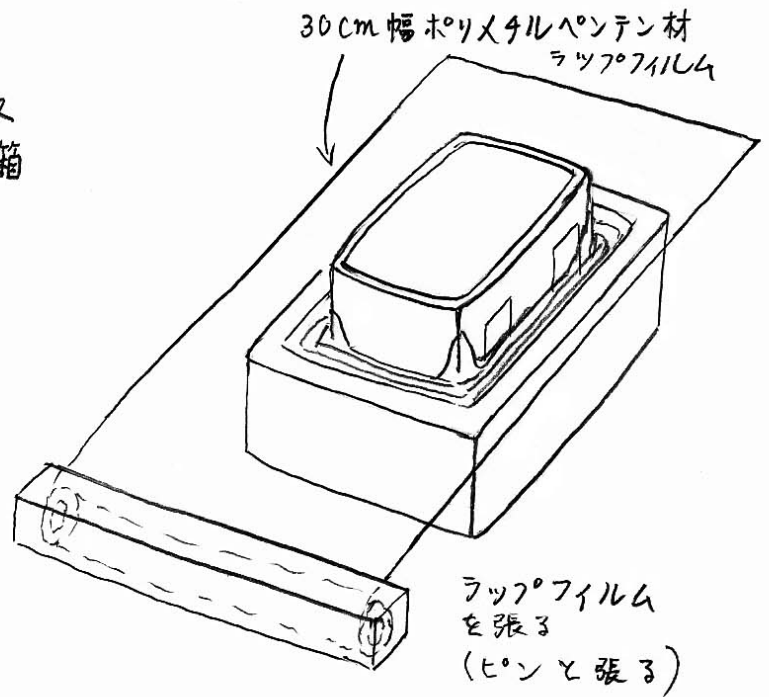
(上にはみ出ないように、また4隅は丸く貼る)

⑩



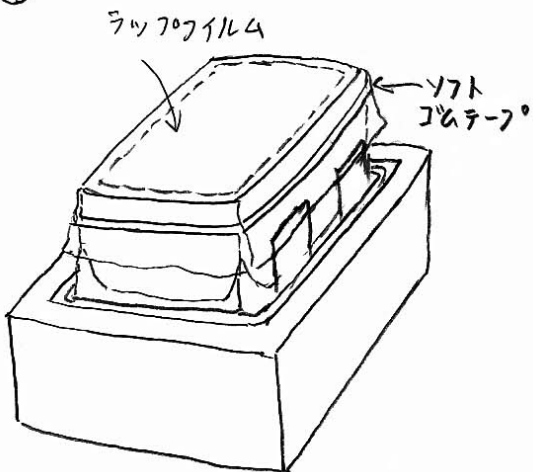
断熱箱にドライアイスを入れ、
その上に⑨の霧箱を乗せる

⑪



ラップフィルム
を張る
(ピンと張る)

⑫



ラップフィルムをソフトゴムテープ
で固定する

⑬



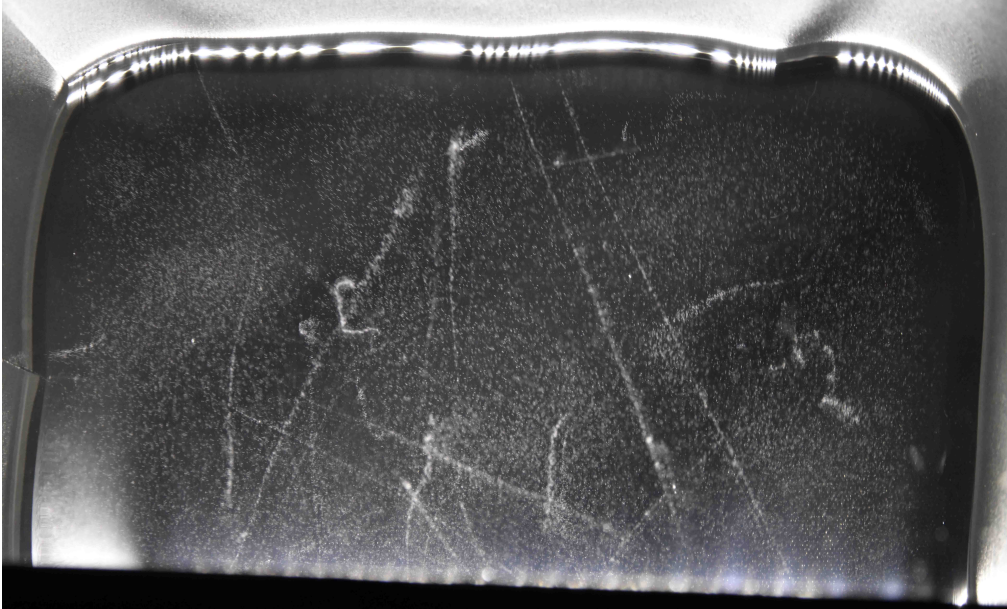
10分ほど放置してから
観察方向から照明光をあてる

13 セットして10分ほど経ってから強力LED懐中電灯光で霧箱内を照らす

(観察方向や側面から照らす)

写真のように、細い糸くずのような(非常に小さい液滴が連なった)直線状やクネクネした形の放射線の飛跡が現れる

14 飛跡の形や濃さ、出現の違い等で飛跡をを分類してみよう (どれが宇宙線の飛跡だろうか?)



《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。

2 霧箱で宇宙線の飛跡が見えるメカニズム

2-1 霧箱の原理

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できるから、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になる。

*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。

2-2 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ない。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。

正面からあたった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

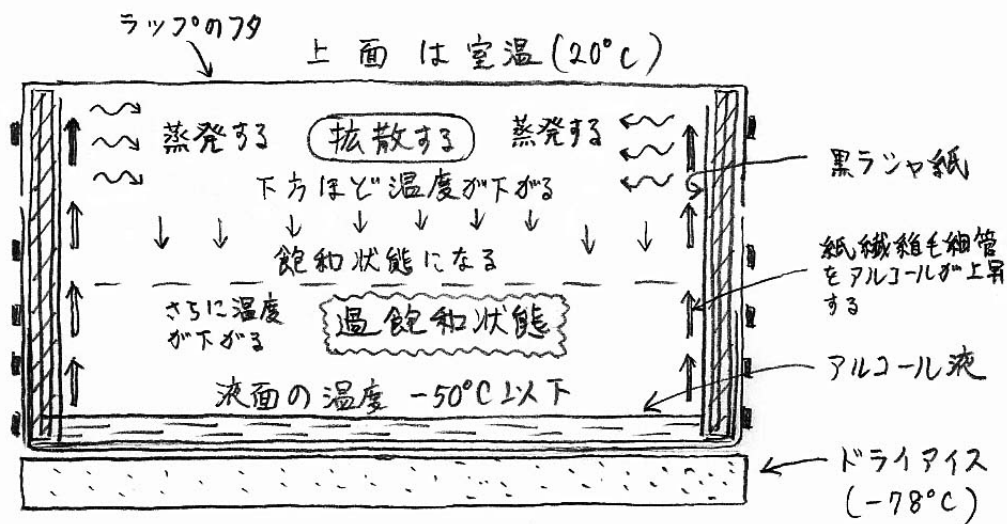
2-3 林式高感度拡散型霧箱の動作

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°C 以下に冷却されている。**

(b) **〈下ほど気体温度が低い〉 \Rightarrow 〈下ほど気体密度が大きい〉 \Rightarrow 〈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） \rightarrow 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。

③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0.1mmくらいのサイズに成長するまで凝結が一気に進む。

- ④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。
- ⑤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。
- ⑥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。
- ⑦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。

*** このようにこの霧箱は循環型になっていて、アルコールの補給なしで、ドライアイスの冷却が続く限り、荷電粒子の飛跡ができ続ける**

補足1 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）

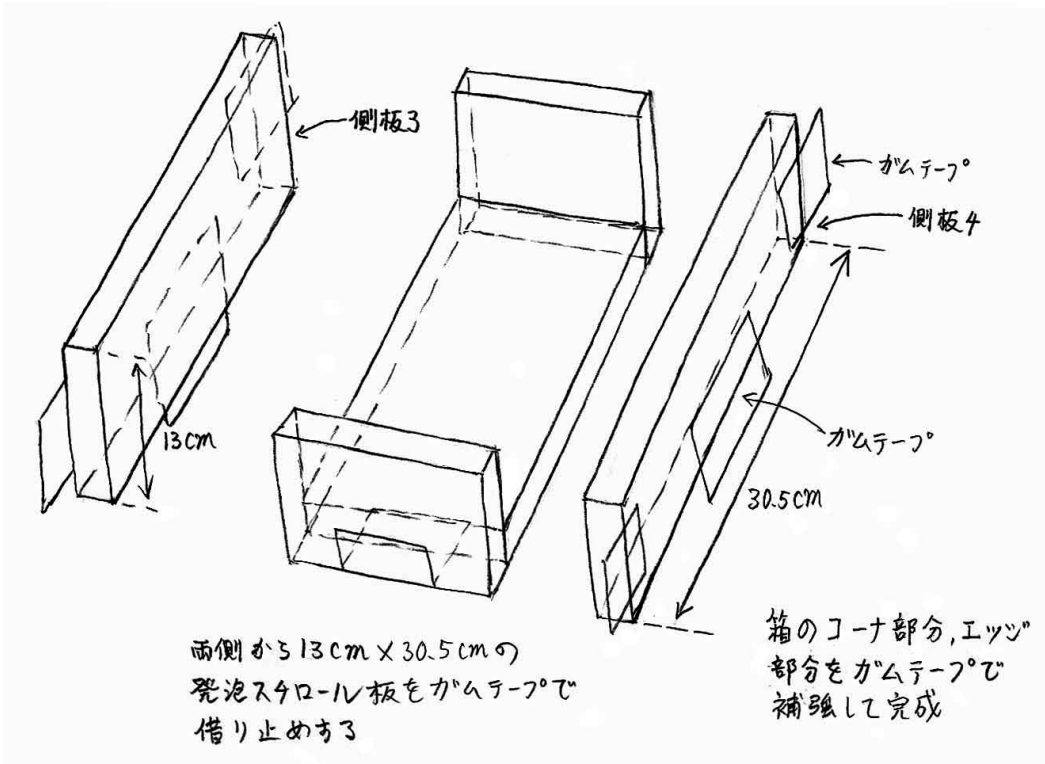
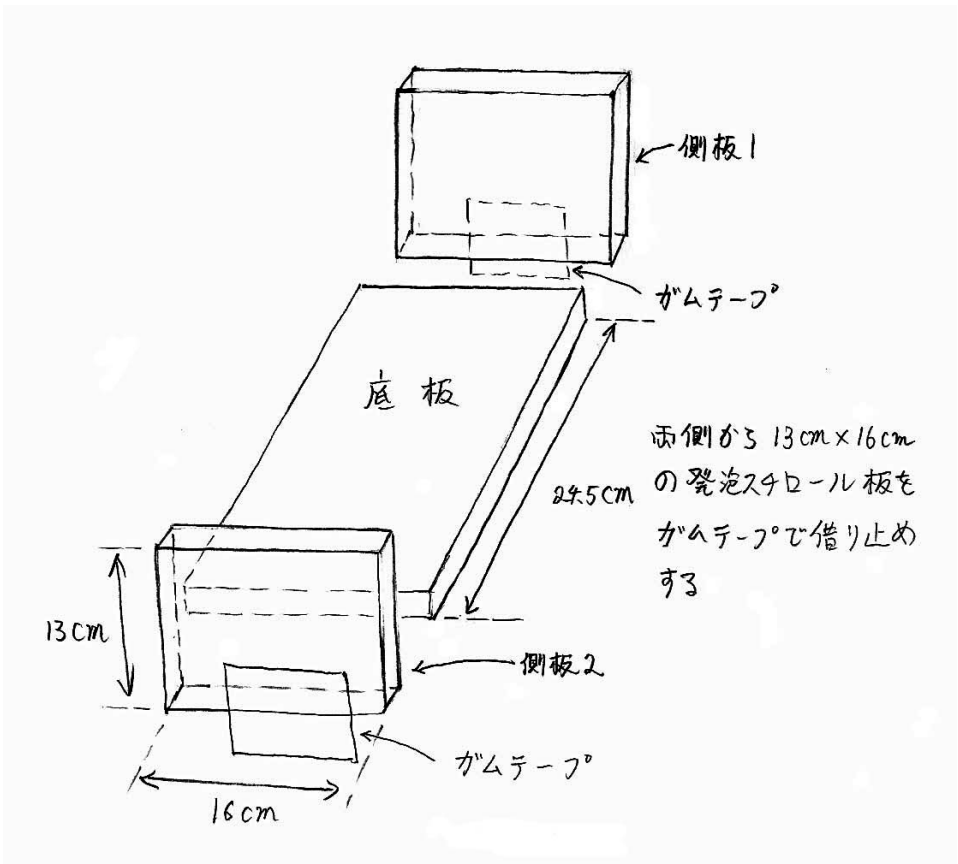
日本ではドライアイスの寸法が12cm×24cmで、厚さが2cmのものが質量1kg、厚さが4cmのものが質量2kgとなっている商品が多く流通している。このサイズのドライアイスのカットしないで、そのまま使用できるように断熱箱のサイズを決めた。

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**発泡スチロールよりスタイロフォームの方が大幅に良い。**



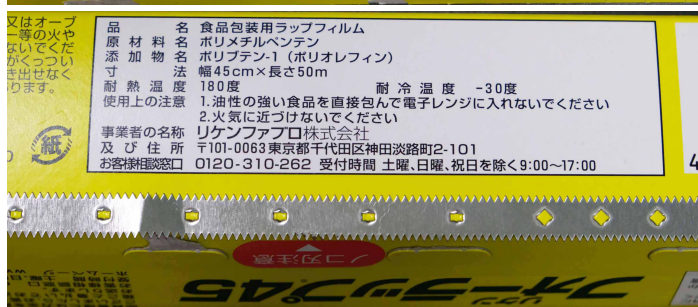
補足2 霧箱の上面を覆うラップフィルムの材質

ラップフィルムの材質は霧箱の性能に大きく影響を与える。
(アルコールに対してラップフィルムの添加物等が大きく影響していると考えられる)

◎霧箱上面のラップフィルム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で、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透明度の良い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
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50cm×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。
事業者の名称及び住所	日本生活協同組合連合会 〒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	リケンファプロ株式会社 〒101-0063 東京都千代田区神田淡路町2-101



- ・ラップフィルムの添加剤も原因の一つになっているようだ。
 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フィルムと、添加剤使用のポリエチレンラップフィルムとで差が出た。
- ・塩化ビニリデン材質のクレラップ等でも短時間だと使用できるものもある