

ペルチェ冷却式霧箱を用いた放射線観察

1. 目的

放射線は目に見えず、音も聞こえず人間の五感で検知することは出来ない。しかしながら、化学的な分析では検出が極めて困難な原子レベルの極微量の放射性同位元素も、自ら外部に放射線という信号を発しており、様々なサーベイメーターでの測定や、霧箱と呼ばれる簡単な装置によって検出することができる。放射線は、レントゲン撮影のような非破壊検査の他に、物質の組成や化学的狀態を調べる分析装置、紙やフィルムなどの厚さ計といったセンサーとして使われ、さらにはタイヤのゴムやプラスチックの改質、半導体の製造、医療器具などの滅菌、ガン治療など、放射線の持つ力を利用したアプリケーションは現代の科学技術を支えており、その経済規模は、原子力発電所がフル稼働していた頃のエネルギー利用での経済規模を凌ぐほどである。

しかしその一方で不用意に放射線を被曝すると様々な影響があることは明らかであり、放射線の性質を良く知り、物質の相互作用という観点から理解することで、適切な遮蔽などの対応を取ることが出来るようになる。

本実験では、ペルチェ冷却式の霧箱を用いて、 α 線、 β 線、 γ 線の観察を行い、飛跡の濃さや形状、遮蔽体を入れた際の挙動の違いなど、物質との相互作用の違いを観察する。また、冷却に使用しているペルチェ素子自体の動作原理および熱的接触の取り方の実習、および温度測定に用いる熱電対の原理と基礎的な取扱について学習する。

さらに、サーベイメーターを用いて自然界に存在する放射性物質の測定を行う。ここでも、 β 線、 γ 線の違いを遮蔽体を用いた際の挙動の違いで評価する。また、空気中に存在するラドン娘核種を捕集し、減衰挙動を評価することで、放射壊変現象について理解する。

2. 理論

2-1 熱電対による温度の測定原理

図 1~3 のように、2 種類の金属 A,B を 2 点で接合した閉回路に於いて、それぞれの接点の温度 T_0 , T_1 が異なっている場合、この回路には電流が流れる。この現象をドイツの物理学者、トーマス・ゼーベック(Thomas Johann Seebeck)が発見した事からゼーベック効果と呼ぶ。この電流は図 4 を用いて説明される。図 4 はある金属線の両端で温度差がある場合の、熱と自由電子の動きを示した物である。金属中では熱は主に自由電子によって運ばれているが、温度勾配によって自由電子全体の分布も変化することで、両端が帯電するようになる(低温側がマイナス(負極)に帯電し高温側がプラス(陽極)に帯電する)。帯電が進むとそれ以上電子の分布は変化しなくなるため、電流はごく一瞬しか流れないが、一種の起電力が発生する。この起電力は金属の種類によって、自由電子の移動度などにより異なり、異なる金属を閉回路として接合した場合、この起電力の差に相当

する電圧によって電流が流れる。この電流、電圧をそれぞれ熱電流、熱起電力と呼び、二種の金属を接合した回路を熱電対と呼ぶ。熱電対に発生する熱起電力は、金属の種類と、接合部の温度によって決定される。(同じ金属の閉回路は、温度差があっても起電力が釣り合うため電流は流れない)図 1 において、自由電子の移動度が大きい金属を A、小さい金属を B とすると、 $T_1 > T_2$ の場合に、図のように電流が流れる。

なお、図 4 のような状態のとき、外部から電圧をかけて、低温側から高温側に電流を流す(自由電子は高温側から低温側に流れる)と、電流を流さないときに比べて熱流が増加する。この現象をウィリアム・トムソン(William Thomson)が発見したことからトムソン効果と呼ぶ。

さて、実際には図 1 の回路では測定を行うことが出来ないため、まず図 2 のような回路を考えてみる。この場合、金属 C の両端の温度が T_0 で等しい場合、この部分での熱起電力は発生しないため、図 1 の回路と同じ起電力が発生する(ただし、抵抗が異なる場合、熱電流は異なる)。間に別の金属を挟んでも両端温度が同じなら熱起電力に変化がないことを、中間物質の法則という。さらに、図 3 のように、回路を開いて金属 C を導線とし、間に電圧計を挟んだ場合も、電圧計側での接点温度 T_0' と T_0 が異なっても、生じる起電力は図 1 と同じである。金属線の途中の温度が両端と異なっても熱起電力に変化がないことを、中間温度の法則という。このようにして、図 3 のように、片方だけを接合した金属線のペアの両端にかかる電圧を測定することで、熱起電力を知ることが出来る。冷接点の温度 T_0 が既知であれば、熱起電力の測定値と熱起電力を求める式から、熱電対接合部 T_1 の温度を知ることが出来る。熱起電力 V は、 $V = a(T_2 - T_1) + \frac{1}{2}b(T_2^2 - T_1^2) \dots$ という多項式で表わされるが、一般に高次の項は無視して差し支えない。

問題は、冷接点の温度 T_0 が既知であれば、という部分であり、本実験では氷水を用いて $T_0 = 0^\circ\text{C}$ の状態を作り出している。 $T_0 = 0^\circ\text{C}$ の場合の熱起電力は、JIS C 1602 規準熱起電力表として与えられている。表 1 は、クロメル(Ni 80%, Cr20%)とアルメル(Ni94%, Al2%, Si1%, Mn 2.5%, Fe 0.5%)を接合した、もともと一般的に使用されている K-Type の熱電対の規準熱起電力表である。

実際の熱電対を使用した温度計では、冷接点の温度は、ある金属の電気抵抗を測定することで温度を知ることが出来るという、測温抵抗体を用いて評価している。この場合、測温抵抗体センサーがある部分の温度 T_0' と、 T_0 の温度が異なると、熱起電力から求めた T_1 に誤差が生じてしまう。このような場合、熱電対に用いている金属と熱起電力が近い金属を導線として用いることで、 T_0 を無視して、 T_0' と熱起電力から T_1 を求めることが出来るようになる。このような熱電対と熱起電力が同等の導線のことを補償導線と呼ぶ。 $T_0 = T_0'$ の場合は、補償導線を使用する必要はなく、一般の導線などを使用すればよい。

表 1 K 熱電対の規準熱起電力表 (冷接点 $T_0 = 0^\circ\text{C}$ の場合)

$T_1(^{\circ}\text{C})$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	39	79	119	158	198	238	277	317	357
10	397	437	477	517	557	597	637	677	718	758
20	798	838	879	919	960	1000	1041	1081	1122	1163
30	1203	1244	1285	1326	1366	1407	1448	1489	1530	1571
40	1612	1653	1694	1735	1776	1817	1858	1899	1941	1982
50	2023	2064	2106	2147	2188	2230	2271	2312	2354	2395
60	2436	2478	2519	2561	2602	2644	2685	2727	2768	2810
70	2851	2893	2934	2976	3017	3059	3100	3142	3184	3225
80	3267	3308	3350	3391	3433	3474	3516	3557	3599	3640
90	3682	3723	3765	3806	3848	3889	3931	3972	4013	4055
100	4096	4138	4179	4220	4262	4303	4344	4385	4427	4468
110	4509	4550	4591	4633	4674	4715	4756	4797	4838	4879
120	4920	4961	5002	5043	5084	5124	5165	5206	5247	5288
130	5328	5369	5410	5450	5491	5532	5572	5613	5653	5694
140	5735	5775	5815	5856	5896	5937	5977	6017	6058	6098
150	6138	6179	6219	6259	6299	6339	6380	6420	6460	6500
160	6540	6580	6620	6660	6701	6741	6781	6821	6861	6901
170	6941	6981	7021	7060	7100	7140	7180	7220	7260	7300
180	7340	7380	7420	7460	7500	7540	7579	7619	7659	7699
190	7739	7779	7819	7859	7899	7939	7979	8019	8059	8099
200	8138	8178	8218	8258	8298	8338	8378	8418	8458	8499

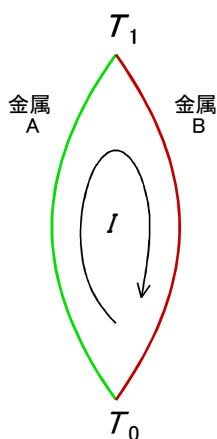


図 1 異なる金属を二点で接合した熱電対の概念図

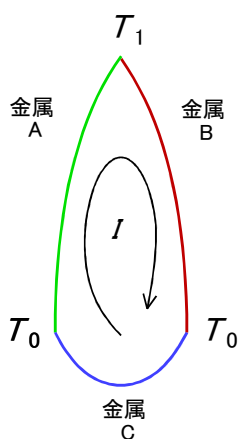


図 2 別の金属を挟んだ熱電対。金属 C の両端の温度が T_0 で同じであれば、発生する熱起電力は図 1 と同じである。

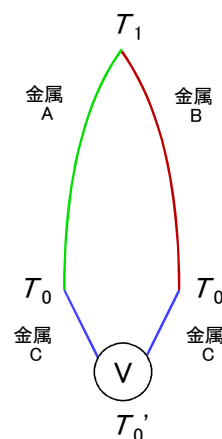


図 3 熱電対の熱起電力測定。 T_0 が既知であれば、 $T_0 = T_0'$ でなくても構わない。

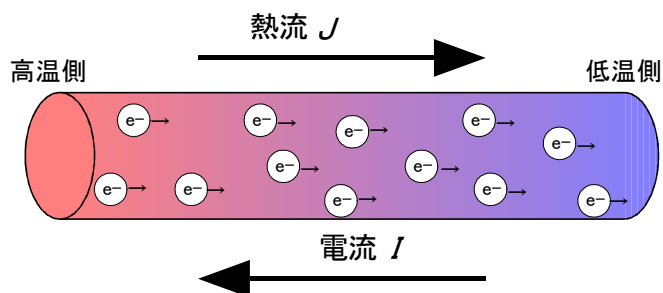


図 4 温度勾配のある金属中の電子の移動
(回路になっていない場合、電流はごく一瞬流れるだけである)

2-2 ペルチェ素子による熱輸送

熱電対は、温度差がある場合熱電流が流れる、というゼーベック効果を利用して温度測定を行っているが、逆に、電流を流すことで温度差を生じさせるのが、ペルチェ効果である。詳細な説明については、固体物理学におけるフェルミ準位や半導体の伝導帯について学習しないと理解できないため割愛するが、金属と半導体を接合してフェルミ準位を合わせた状態で電圧をかけて電流を流すと、N型半導体(電子が電荷のキャリア)では伝導帯がフェルミ準位よりも高いエネルギーにあるため、電子が半導体内部に入るときにはエネルギーとして熱を吸収し、半導体から出て金属に戻るときには逆に熱を放出する(図5)。P型半導体では逆にホールによる伝導帯がフェルミ準位よりも低いエネルギーとなるため、N型とは反対の挙動を示す(図6)。このため、電流の方向に対して、N型は反対方向の熱流を作り、P型は同じ方向の熱流を作る。この二つの半導体を上向き、下向きに配置して、同じ方向に熱が流れるようにした物が、実際に使用されるペルチェ素子である(図7,8)。

電流 I を流したときに、単位時間あたりに移動する熱量(熱流) Q は、 $Q = \Pi I$ で表わされ、 Π をペルチェ係数と呼ぶ。N型半導体は正のペルチェ係数を持ち、P型半導体は負のペルチェ係数を持つ。ただし、ペルチェ素子を吸熱体として利用する場合は、実際には素子は有限の電気抵抗を持ち、その発熱量は電流の二乗に比例するため、電圧を上げて沢山電流を流せばその分だけ吸熱する訳ではないので注意が必要である。

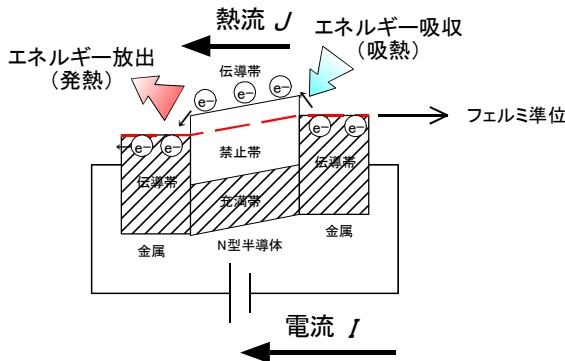


図5 N型半導体に電流を流した際の熱流

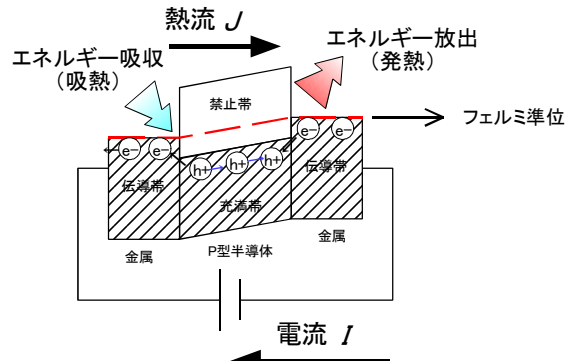


図6 P型半導体に電流を流した際の熱流

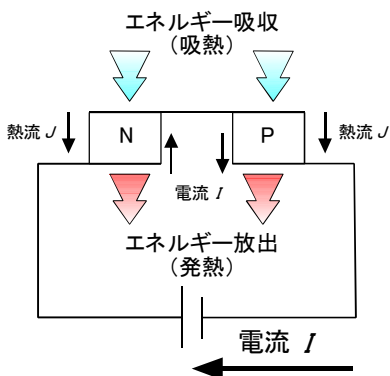


図7 P型半導体とN型半導体を組み合わせたペルチェ素子の仕組み



図8 多数のP型半導体とN型半導体の対を並べた実際のペルチェ素子の内部

2-3 霧箱の原理

空気中を放射線が通過する際に、気体分子から電子をはぎ取り(電離作用)、多数のイオンを生成する。高電圧をかけて生成されたイオンの量を電流として測定するのが次章で説明する電離箱であるが、過飽和状態の気体中に放射線を導入し、放射線に添って生成したイオンを凝結核として目に見える大きさに成長した霧滴によって粒子の飛跡を観察することが出来る装置が霧箱である。これは、大気上空で冷やされて過飽和状態となった水蒸気中を飛ぶ飛行機の排気ガスなどにより生成される、飛行機雲と良く似ている。

断熱した容器に空気と水蒸気を満たして急激に膨張させると水蒸気が凝縮して霧滴が生成されるが、1912年にC.T.R. Wilsonはこの容器の中で α 粒子や電子の通った後に霧滴による飛跡が観察されることを発見し、写真を撮ることに成功した。これが断熱膨張を利用したWilsonの霧箱であり、その功績によりWilsonは1927年のノーベル物理学賞を受賞した。Wilsonの霧箱は断熱膨張によって過飽和蒸気を生成するので過飽和の持続時間が短い。それを改善し、過飽和状態を持続させたのが1939年にA. Langsdorfによって開発された拡散型霧箱である。温度が高く、蒸気圧の高い気体を低温部に拡散させることで過飽和の層を作る。この層に放射線が入射すると放射線の飛跡を霧の筋として観測することができる。

一般的に低温部の冷却にドライアイス、場合によっては液体窒素を用いてエタノールなどを蒸発・凝集させるが、逆に低温部は室温程度の温度として沸点の高いエチレングリコールなどをヒーターで暖めて蒸発させて過飽和蒸気を作る、高温型の霧箱という物も存在する。本実験では、2-2で説明したペルチェ素子を使用して $-20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 程度の低温を作り出し、チャンバー上部の室温程度のエタノールとの温度差から飽和蒸気を作り出す。なお、ペルチェ素子は一枚だけではこの温度に到達しないため、印加電圧の異なる素子を二段重ねてカスケード接続することで、飛跡が観察可能な温度への冷却を達成している。

また、空気中には埃や様々な雑イオンが存在しており、これらが凝縮核となり放射線が通過しなくても霧滴は生成している。余りに雑イオンが多いとせっかく生み出した過飽和蒸気がこれらの凝縮核によって液体となってしまう、放射線によるイオンが生成しても飛跡を観察することが出来なくなる場合がある。そのため、図9、10に示すようなコッククロフト回路を用いた高電圧生成ユニットにより、チャンバー内の銅箔テープ対に高電圧を印加して雑イオンを除去するようにしている。

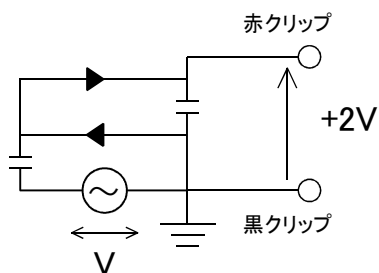


図9: コッククロフト・ウォルトン回路

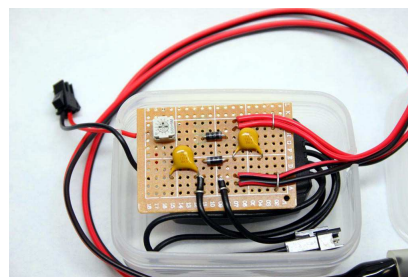


図10: 実装された回路レイアウト

2-4 サーベイメーターによる放射線の測定

放射性物質を取り扱う実験を行う際には各種のサーベイメーターを用いて作業場所の放射線の線量測定や、表面の汚染の検査を行う必要がある。それぞれのサーベイメーターには特性に応じた使用上の注意点があり、場面に応じて適切な使用を行わないと全く検知したい放射線を捉えることが出来ない場合もあり得る。放射線の種類による物質との相互作用の違いと、それぞれのサーベイメーターの特性を理解し、正しい使用法を身につける必要がある。

・ 電離箱

原理的には最も単純な気体電離箱は、放射線により気体が電離したイオンの量を、気体の両側に高電圧をかけて電流としてそのまま取り出し線量当量率($\mu\text{ Sv/h}$ 等の単位)を求める(図 11)。「電離」という放射線の本質をそのまま使用した、最も原理的な測定器と言え、良好なエネルギー特性をもち、均一な方向特性、各種サーベイメーターのうちで最も強い放射線場でも用いることが出来るという特徴を持つ。

しかし、流れる電流は極めて微弱であるため感度が比較的 low、 $1\mu\text{ Sv/h}$ 程度が測定限界であるため、バックグラウンドレベル ($0.07\mu\text{ Sv/h}$ 程度) の測定を行うことは出来ない。また、回路が安定するまでやや時間を要し、使用する 10 分程度前には電源を入れる必要がある。本実験では電離箱サーベイメーターは使用しないが、基礎的な知識として覚えておく必要がある。

・ GM 計数管

電離箱では放射線によって電離されたイオンの量をそのまま測定していたが、印加する電圧を高くしていくと、電極側に引き寄せられる途中でイオンが加速し、別の分子にぶつかってその分子を電離するようになる。この作用により電流が増幅されるが、この増幅率は印加する電圧に比例するため、この電圧の範囲のことを比例計数(管)領域と呼ぶ。この領域を超えて電圧を上げていくと、ついに気体の中に一對のイオン対が生成しただけで、 10^{10} 倍程度にまで増幅される、電子雪崩を起こすようになる。この印加電圧の領域を GM 計数(管)領域と良い、しばらく電圧を上げても挙動は変わらず、一定の増幅率となる(プラトー領域)。さらに電圧を上げていくと、放射線が無くても連続的に放電してしまい、計測できなくなる。

GM 計数領域では、出力パルスは十分大きい出力となっているため、増幅などせずに GM 管からの出力パルスをそのまま計数すればよく、構造が簡単で信頼性が高く、最も一般的に用いられるサーベイメーターである(図 12)。 β 線と γ 線の両方に対して用いることが出来るが、検出器の前面を覆っている雲母の膜を透過することが出来ないような低エネルギーの β 線や γ 線、もちろん、 α 線は検出することが出来ない。さらに、 50 keV 以下の γ 線に関しては急激に感度が落ちる。また、アルミのキャップが付いている場合が多いが、このキャップを付けると β 線は透過することが出来ず、 γ 線のみでの測定となる。

計測を行う単位は、放射線を何発検出したかを示す count であり、機器により count/s (CPS) の場合と、count/m (CPM) の場合がある。放射線がどれだけエネルギーを持っていたのかにはほ

とんど関係が無く、検出器が何発検出したか、だけの計測であるため、空間線量などの定量的な測定には向いていない。 $\mu\text{Sv/h}$ の単位が書いてある GM サーベイメーターも存在するが、良く見ると (^{137}Cs) 等と書いてとあり、 ^{137}Cs からの 662keV γ 線を使った校正値であるため、それ以外の場合では目安程度にしかならない点に注意する必要がある。また、 β 線を検出してしまうと大きく値がずれるため、アルミ板などで β 線をカットして、 γ 線だけを評価する必要がある。

また、GM サーベイメーターは、1 発放射線を検出する度に電子雪崩が起こり、芯線周辺をさや状のイオンが取り囲み電場を遮蔽してしまうため、クエンチガスにより中和されるまでの間、新しい放射線が入射しても検出することが出来ない不感時間が $100\mu\text{s}$ 程度有る。このため、比較的低い計数率でも数え落としが起こり、せいぜい数 100cps 程度までしか正しく計数出来ない。さらに強い放射線場では芯線の周りに発生したイオンのさやが取り除かれる暇が無くなり、計数率が逆に下がってしまうという窒息現象を起こすため、注意を要する。

・ NaI シンチレーション検出器

NaI(Tl) シンチレーターに光電子増倍管を組み込んで、その出力パルスを計数するサーベイメーターで(図 13)、感度が高く、エネルギー特性がよいことが特徴としてあげられる。もともと NaI シンチレーター自体は入射 γ 線エネルギーに対する検出効率の依存性はフラットではないのだが、出力波高から検出した γ 線のエネルギーを求めることが出来るため、電子回路を用いて補正することが出来る。これにより、 γ 線による線量等量率を求めることが出来るので、空間線量の測定にも適している。また構成元素の原子番号が大きく比重も大きいため検出効率が良く、バックグラウンドレベル ($0.05\mu\text{Sv/h}$ 程度)でも測定可能である。

しかし、NaI シンチレーター結晶は吸湿性があるため密閉する必要があり、カバーするステンレスハウジングを β 線を通過できず、また 50keV 以下の γ 線も補償回路によりカットされてしまうため測定することは出来ない。なお、シンチレーターとは放射線が入射すると発光する性質を持った物質の総称であり、固体の物と液体の物があり、後者は液体シンチレーションカウンターとして使用される。

・ シリコン半導体センサー

エステー化学から東日本大震災後に発売されている「エアカウンターS」などに代表される安価な放射線検出器のほとんどは、フォトダイオードを用いたシリコン半導体センサーで測定を行っている。フォトダイオードは通常可視光線などを受光して、そのエネルギーにより価電子帯の電子を伝導帯に励起して電流として取り出すことが出来るが、センサーに遮光を施した上で放射線を入射すると、同様の原理で放射線の入射を検出することが出来る(図 14)。また、製品によってはフォトダイオードに CsI(Tl) などのシンチレーターを貼り付けて、シンチレーターからの可視光を測定している物もある。

この検出器では GM サーベイメーター同様に、エネルギー弁別は出来ず、検出したカウント数のみで評価を行っている点に注意すること。ほとんどの製品は ^{137}Cs によって校正されており、空間

線量が ^{137}Cs からの γ 線による物であるという条件で線量当量を評価している。それ以外のエネルギーの光子に対して当然線量当量は異なるため、注意が必要である。また、一般にセンサーのサイズが非常に小さく、Si の密度はそれほど高くはないため検出効率は非常に低い。このため、測定に時間をかけて統計的に測定誤差を小さくする方法が採られている。

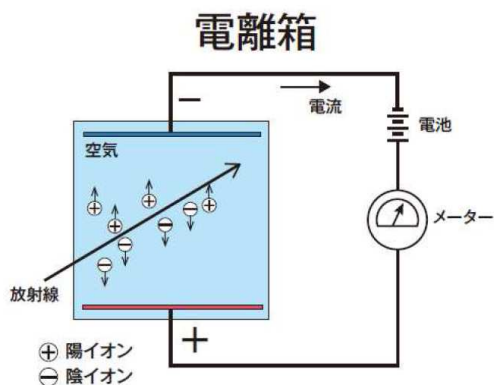


図 11 電離箱の模式図

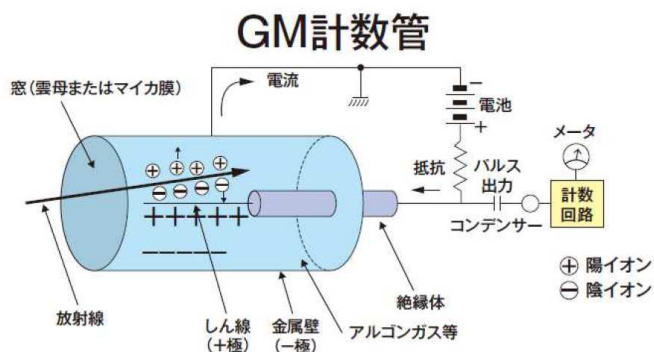


図 12 GM 計数管の模式図

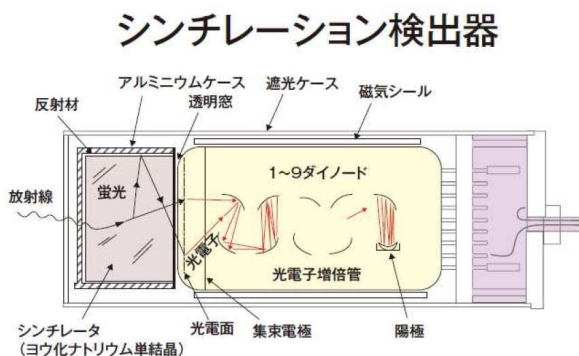


図 13 シンチレーション検出器の模式図

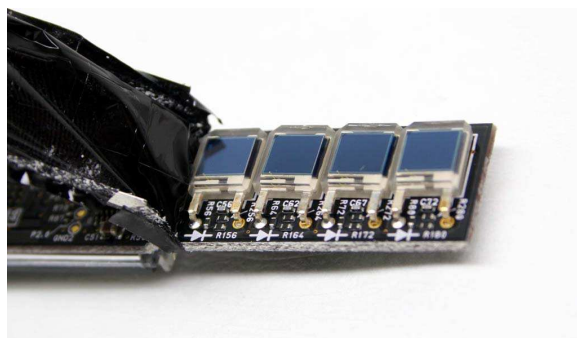


図 14 エステー化学のエアカウンターS の内部構造。シリコンの太陽電池を暗幕で覆って可視光線が入らないようにしている

3. 実験手順

3-1 熱電対による温度の測定

- ・熱電対による起電力を測定して、測定温度と起電力表から妥当性を検証する。
- ・熱電対をデジタルマルチメーターに接続する。

この際、デジタルマルチメーターからのテストプローブと熱電対の素線の接点を氷水の中に浸し $T_0 = 0^\circ\text{C}$ とする。使用する熱電対は K-Type のもので、アルメルとクロメルという合金線をアーク接合したものを使用する。アルメルは磁石に付くがクロメルは磁石に付かないので、区別できる。常温以上では、アルメルが負極側、クロメルが正極側となる。

- ・常温に於いては起電力が小さいため、ニクロム線を巻いたヒーターの中に熱電対を入れて測定を行う。DC-DC コンバータの出力を徐々に上げて 200°C 程度までの範囲で熱起電力の測定を行い、温度と起電力の関係をグラフにプロットする。なお、ヒーターの温度は、別途熱電対を使用したデジタル温度計を用いて測定し、その温度を正とする。DC-DC コンバータへは ATX 電源から DC 12V の給電を行い、歩添書メーターを調整することで数 V 程度の出力を得ることが出来る。

3-2 ペルチェ素子による熱輸送

- ・CPU クーラーにペルチェ素子を一枚載せて、印加電圧と到達温度の関係を得る。
- ・CPU クーラーに素子を載せる際には、熱伝導グリースを用いてしっかりと熱的接触を得ること。ただし熱伝導グリース自体の熱伝導率は金属などに比べるとはるかに低いため、厚く塗りすぎないこと。熱伝導グリースに比べて、さらにはるかに熱伝導率の低い「空気」の層を排除することが目的である。
- ・ペルチェ素子は型番が刻印されている面を上側とし、どの型番の素子を使用したか記録すること（型番によって到達温度が異なる）。
- ・素子の温度はデジタル温度計を用いて測定する。熱電対を素子の上面にアルミテープでしっかりと貼付けて、熱的接触を取ること。
- ・素子から出ているリード線に電源装置とハンディタイプのマルチメーターを電流計として直列に繋ぐ。2V ごとに 16V まで昇圧していき、電圧・電流と到達温度の関係をグラフにプロットし、ペルチェ効果とジュール発熱の関係について考察する。

3-3 霧箱による放射線の観察

- ・ペルチェ冷却式霧箱の、定格運転における到達温度を熱電対式のデジタルマルチメーターを用いて測定する。
- ・チャンバーのスポンジテープにエタノールを染みこませ、本体の上に乗せる。一台はポリパックに入れたマントル線源を、もう一台は中に何も入れない状態として、電源を入れて霧の発生状態など

を観察する。

- ・一旦電源を落として、一台はチャンバーの中に少量のマントル線源を入れ、もう一台はチャンバーの上にマントル線源を袋ごと載せて、それぞれ α 線、 β 線の飛跡を観察する。飛程や飛跡の形状についても観察して記録せよ。
- ・ β 線を観察していたチャンバーの上に、6mm 程度のアルミ板を載せて、 β 線を完全に遮断して γ 線のみ入射する状態で観察を行う。上手く観察できない場合はマントル線源をもう一袋上に載せて観察してみる。

3-4 サーベイメーターによる放射線の測定

- ・インスペクターUSB GM サーベイメーターを用いて、自然放射線源の測定を行う。
 - ・線源をマントルとして、インスペクターUSB GM サーベイメーターと、エステーのエアカウンターSを用いて、2mm アルミ板の遮蔽体のある場合と無い場合で β 線と γ 線の測定を行う。GM サーベイは $\beta \cdot \gamma$ の測定を行うが、はるかに β 線に対する感度の方が高く、シリコンフォトダイオードを使用したエアカウンターは、 γ 線しか測定できない点に注意する。
 - ・箱の中にラジウムボールを入れてフタをして、GM サーベイメーターを用いて線源を探す、模擬汚染検査を行い、どのような点に注意する必要があるか考察せよ。
 - ・インスペクターUSB を用いて、0.2mm～3mm まで遮蔽を行った際の計数率の変化を測定し、遮蔽体の厚さと透過率を片対数用紙にプロットしてグラフを作成せよ。測定の際には、測定用の引出しを用いて線源と測定器の配置を一定として測定せよ。
 - ・インスペクターUSB を PC に繋ぎ、3 種類のアルミ板とポリスチレンが配置された試料板を引出しに差し込んで、1cm を 10 秒程度かけて動かしていき、計数値の変化を見ることで、模擬非破壊検査/厚さ計/密度計の実習を行う。
- 何故この測定が、非破壊検査、厚さ計、密度計の模擬となるのか、測定結果をまとめた上で述べよ。必要に応じて、PC から測定データを取り出すことが出来るので持ち帰って整理せよ。

大阪府立大学 学生実験: サーベイメーターによる放射線の測定 実験記録シート

実験日
氏名
所属
学籍番号

	β 線測定						
	測定器	インスペクターUSB					
・遮蔽効果の測定	バックグラウンド		cpm	BGを引いた計数率		透過率	
	遮蔽無し		cpm		cpm		
	Al 0.2mm		cpm		cpm	%	
	Al 0.5mm		cpm		cpm	%	
	Al 0.7mm		cpm		cpm	%	
	Al 1.0mm		cpm		cpm	%	
	Al 1.5mm		cpm		cpm	%	
	Al 2.0mm		cpm		cpm	%	
	Al 2.5mm		cpm		cpm	%	
	Al 3.0mm		cpm		cpm	%	
		γ 線測定					
		測定器	エアーカウンターS				
	バックグラウンド		μ Sv/h	BGを引いた線量率		透過率	
	遮蔽無し		μ Sv/h		μ Sv/h		
	Al 3.0mm		μ Sv/h		μ Sv/h	μ Sv/h	
・模擬非破壊検査/ 厚さ計測	遮蔽無し		cpm		cpm		
	Al 板 A		cpm		cpm	%	
	Al 板 B		cpm		cpm	%	
	Al 板 C		cpm		cpm	%	
	5.5mm スチロール		cpm		cpm	%	
・空気中の放射性物質 の捕集と減衰	何故空気中に放射 性物質が飛んでい て、ガーゼで捕集 できるのか				半減期はどの程度 であったか		
・模擬汚染検査	汚染検査を行う 際に気をつけな くてはならないこ とを記述せよ						