

## 実験 5. 熱電対 (ねつでんつい) (Thermo-couple)

### 目的

熱電対の原理を理解し、錫（スズ）の融点の測定を行ない、熱電対の較正をする。

**予習** 理論と実験方法をよく読み、理解したことを箇条書きにする。

熱電対、過冷却現象についてインターネットで調べる

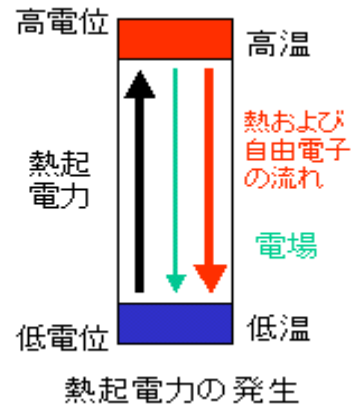
### 熱起電力

金属線の片側を熱して金属線の両端に温度差を与えると、高温側から低温側への熱の拡散に伴い、金属線中の自由電子の移動が生じる。

それに伴って、高温部がプラス、低温部がマイナスとなり、高温側から低温側に向く電場が生じる。すると自由電子は電場からの力を、低温側から高温側へ、逆向きに受けるようになる。

熱の拡散に伴う自由電子の移動が進むと電場が強くなり、電気が熱拡散による力とつり合い、自由電子の移動が止んで平衡状態となる。

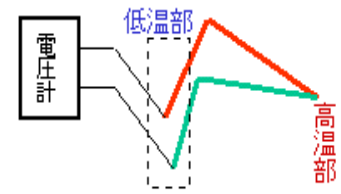
このときの金属線の両端には温度差に依存する電位差を生じる。これを熱起電力という。



同じ温度差における熱起電力の大きさは金属によって異なる。そこで、二種類の金属線を融着してつなぎ、融着部を高温に、他方を低温に保つと、二つの金属線の間にはそれぞれの熱起電力の差の起電力が生じる。

### → 熱電対の熱起電力

このように二種類の金属線を融着してつなぎ、両端の起電力から高温部の温度を求めるようにしたものが熱電対である。



### 1. 熱電対の構成

二種類の金属線（アルメルとクロメル）を融着してつなぎ、この融着部を温度センサー部とする。

センサー部分から分かれた二つの金属線の両端（低温部）を、氷水を入れた保温瓶につけ、0℃の状態に保つ。

融着した部分（センサー部）を熱すると、低温部の二つの金属線の両端には熱起電力が生じる。

この電圧をミリボルトメーターで測定することで、センサー部の温度を知ることができる。

熱起電力  $E$  はセンサー部と低温部の温度差にほぼ比例する。

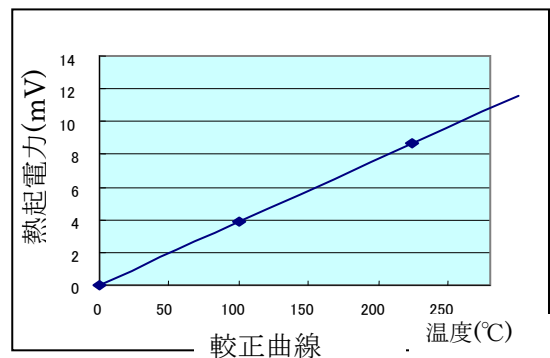
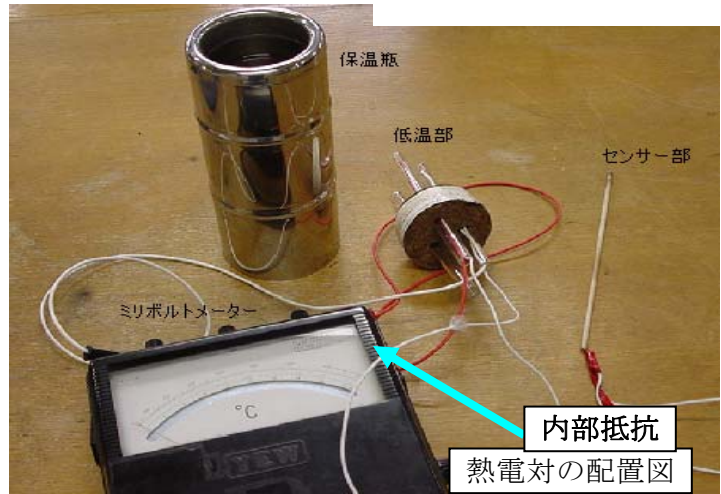
$$E[\text{mV}] = A \cdot (t_{\text{センサー部}} [\text{°C}] - t_{\text{低温部}} [\text{°C}]) \quad (1)$$

低温部は氷水の中にあるので  $0\text{°C}$  である。

(1)' 式に熱起電力  $E$  とセンサー部の温度の関係を示す。

$$E[\text{mV}] = A \cdot t_{\text{センサー部}} [\text{°C}] \quad (1)'$$

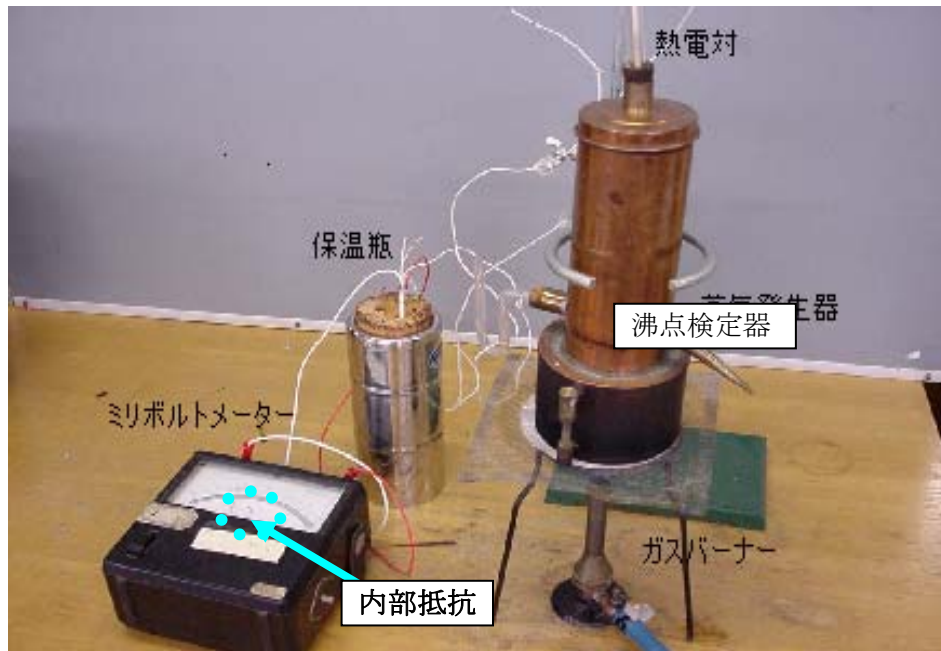
$A$  は温度係数であり、右図の較正曲線の傾きとほぼ一致する。理科年表には、アルメルとクロメルの標準熱起電力の表がある。実際の熱起電力と温度の関係は、金属線の太さや、長さ、使用する測定器の内部抵抗などにより



異なる。そこで、既知の温度における熱起電力を実験で求め較正をする。温度と熱起電力の関係を求め、グラフ化することを較正曲線を求めるという。較正曲線は温度計として使用できる。

## 2. 熱電対の較正 (Calibration)

ガスバーナーで沸点検定器のお湯を沸かし、沸騰したら熱電対をその中に入れる。そして平衡状態になったときの熱起電力を測定する。このとき、熱電対のセンサー部は  $100^{\circ}\text{C}$ 、低温部は氷水の中にあるので  $0^{\circ}\text{C}$  である。よって、この熱電対の、温度差  $100^{\circ}\text{C}$  における熱起電力が求められる。



### 熱電対の較正

- 1) 保温瓶 (デュワー瓶) に氷を入れ水を注ぐ。  
水と氷が共存した状態での温度は  $0^{\circ}\text{C}$  である。(右図)
- 2) ミリボルトメータ (mVメーター) は水平に置き、前頁や上図のように配線する。  
熱電対の低温部の二つの端子を保温瓶のガラス管内に入れ  $0^{\circ}\text{C}$  になるようにする。  
測定の際はメーターの針と鏡に映った針とが重なる位置 (視差による誤差を小さくするため) で目盛りを読む。使用するメーターの電圧の測定可能範囲とメーターの内部抵抗 (考察で使用する場合がある) を読み記録しておく。

\* 単位 mV はミリボルトといい  $1\text{mV}=1\times 10^{-3}\text{V}$  (ボルト) である。



以下の表のデータ欄は測定状況により増減すること。

### 3) 測定① 水の融点における熱電対の熱起電力の測定

初め、メーターの読みは 0 ではない (室温の熱起電力をさしているため)。  
熱電対のセンサー部を保温瓶のガラス管に挿入し、入れた時を時間 0 秒として 10 秒毎にメーターを読む。1 分くらいで  $0\text{mV}$  になるが、 $0\text{mV}$  が 4 回続くまで測定を続け、定常状態とみなす。  
もし 3 分くらい測定を続けても  $0\text{mV}$  にならないときは針が  $0\text{mV}$  を指すようにメーターを調整する。→ 零点補正 (補正方法は使用するメーターにより異なるので指示に従うこと。)

① 氷の融点における熱起電力のデータ

時間 (秒)	0	10	20	30	40	50	.....
熱起電力 (mV)							

4) 測定② 水の沸点における熱電対の熱起電力の測定

沸点検定器に水を入れガスバーナーで加熱する。

測定①を終えたら、熱電対を中に入れ、測定を開始し、2分おきに熱起電力を読み取る。

お湯が沸いたら **1分おき**に熱起電力を読み取る。メーターの読みは上昇してあるところで一定となる。**一定の値が4回続いたら定常状態とみなし、測定を終了**する。

② 水の沸点における熱起電力のデータ

時間 (分)	0	2	4	6	8	10	12	14	.....
熱起電力 (mV)									

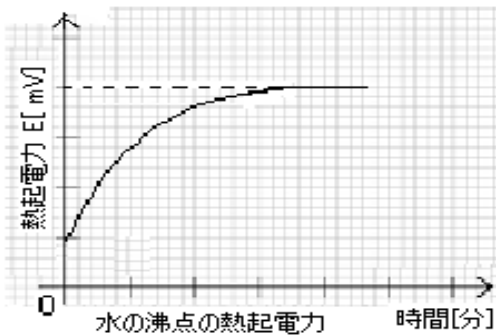
測定終了後、ガスを止め、熱電対を電気炉のタンマン管内の保護管の底部に届くように入れる。

**\*火傷に注意して!**

測定中の室温 (受付脇の温度計の読み)

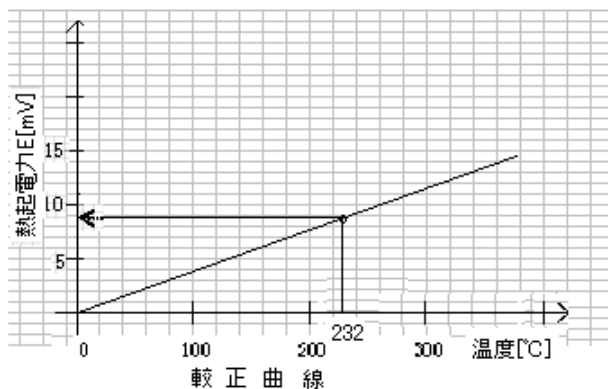
 °C

**\*考察で使用する。**



5) **校正曲線を描き、スズの融点の熱起電力を予測する。(→予測値)**

A4 方眼紙を横長に使用し、温度と熱起電力の最大目盛は250°C、15mV程度まで読めるように大きく書く。



氷点 (0°C、0mV) と水の沸点 (100°C、E<sub>100</sub> mV) の点をグラフにプロットし、2点を通る直線を引く。  
次にスズの融点232°Cでの熱起電力を知るため、校正曲線にマークし、グラフの縦軸の目盛りを読む。

**熱電対の温度測定をしながら、校正曲線を描きスズの融点の熱起電力を予測する。(→予測値)**  
スズの加熱・冷却の際、予測値の近辺では熱起電力が変化するので参考とすること。

### 3. 錫 (スズ Sn) の融点における熱電対の熱起電力の測定

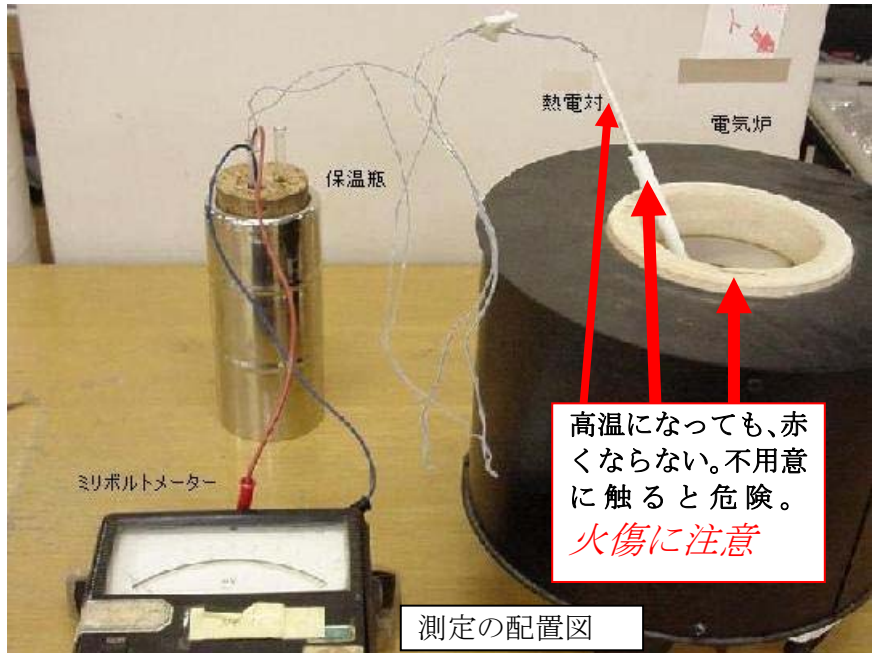
#### 測定③測定手順

水の沸点の測定が終わったらすぐに、電気炉内の錫を入れた太いタンマン管の中の細い保護管の中に熱電対を入れる。この時、保護管の底に熱電対が届くように注意深く入れる。先端が底に達していないと正確な測定ができない。

電気炉のコンセントを入れ、中の温度が上昇するのをミリボルトメーターの針を見ながら確認し、メーターの針が10mVに近づいたら電気炉のコンセントを抜く。

(実はこのとき、電気炉のスズは融けている。実験では融けたスズが固まる様子を観察する。)

しばらくは余熱で温度が上昇するが、やがて温度が下がり始める。



メーターの針が再び、10mVまで下がったら測定を開始する。

測定の時間間隔を 1分おきとし、下がっていく針の値を読み取る\*。

9~7mVまでの冷却途中、急に温度が上昇した後しばらく一定となる。→ (過冷却現象と融点)

値が一定になった後、再び下がり始めたら測定を終了する。(過冷却現象の最小の熱起電力以下に下がればよい。)

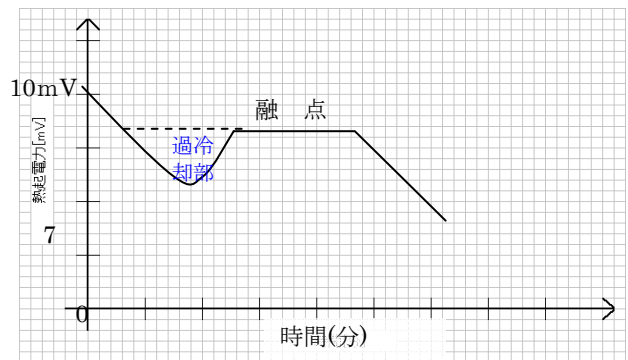
\* 季節により、電気炉の温度の下がる速さが異なる。冷却速度にあわせて測定時間の間隔を選択する。  
(7mVまで単調に減少する場合は担当者に申し出ること。)

#### ③ スズの融点における熱起電力のデータ

時間 (分)	0	.....					
熱起電力 (mV)							

時間枠の数値やデータ欄が足りない場合は書き足すこと。

③ の測定結果をそれぞれ、グラフ用紙にプロットする。横軸に時間、縦軸に熱起電力をとり、グラフの各点を滑らかに曲線で結ぶ。グラフには、タイトル、各軸 (縦軸と横軸) の目盛と単位を明記すること。



スズの融点の測定

**融点**では固体と液体が混じりあい、共存している。

**過冷却現象**では融点 (=凝固点) より低い温度でも液状である

#### 4) 結果

1) 各グラフから読み取った以下の値を記入しなさい。

氷の融点..... [°C]における熱起電力.....[mV]

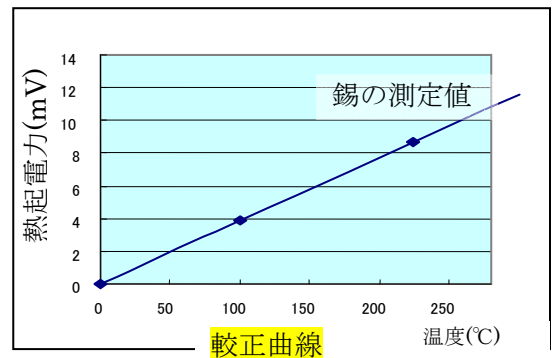
水の沸点 ..... [°C]における熱起電力.....[mV]

錫の融点..... [°C]における熱起電力.....[mV] ←測定値 .....[mV]←予測値

過冷却現象における最小の熱起電力.....[mV]

2) 校正曲線

校正曲線のグラフ内にスズの融点の測定値を記入しなさい。



#### 5) 考察および課題

1) ① 温度が1度上がると、熱起電力は何mV上がるか?

② 熱起電力が1mVの変化につき、温度は何度、変化するか?

2) ① 「スズの融点の測定」のグラフ内に過冷却現象と融点がどこであることを示すこと。

② 過冷却現象は何分間続き、融点より最大何mV、何°C下がりましたか?  
校正曲線のグラフを参照し、簡単な説明をつけて答えなさい。

3) 熱電対の低温接点を保温瓶の外に取り出し、水の沸点の測定をした。低温接点の温度が  $t_{\text{低温部}} = 20[^\circ\text{C}]$  のとき、水の沸点の測定値はいくらになると考えられますか?  
「どのように考えたか」をわかりやすく述べること。(グラフや式を用いるとよい。)

4) 校正曲線のグラフの傾きを求める。

手順① グラフ内のなるべく離れた2点を選ぶ。

② 2点間の温度差  $\Delta t$  を求める。

③ 2点間の熱起電力の差  $\Delta E$  を求める。

④ 傾きは  $\Delta E / \Delta t$  より求められる。

$$\text{グラフの傾き} = \frac{\text{熱起電力の差}}{\text{温度差}} = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \text{—————} = \text{—————} \quad \left[ \begin{array}{l} \text{単位} \\ \text{ } \end{array} \right]$$

5) 校正曲線の傾きを用いて、実験式を求める。(1)、(1)' 式参照  
(実験で得た校正曲線を式で表しなさい。)

#### 6) 感想