

## 14. ジュール熱・熱起電力

### 目的

- (1) 容器、温度計、スターラーなどの熱容量を水の量に換算（水当量）し、熱の仕事当量を求める。
- (2) クロメル-アルメル (K) 熱電対と鉄-コンスタンタン (J) 熱電対を用いて、温度と起電力の関係を測定し、その関係からゼーベック係数  $S(\Delta V = S\Delta T)$  を求める。

### 実験

- (1) 容器、温度計、スターラーなどの水当量を求める。
- (2) 電熱線に電流を流し水の温度上昇から、熱の仕事当量を求める。
- (3) クロメル-アルメル (K) 熱電対と鉄-コンスタンタン (J) 熱電対を用いて、温度と起電力の関係を測定する。

### 測定

#### [1] 水当量 $\omega$ の測定

- (1) ジュール熱実験装置中のプラスチックコップを取り出し、電子天秤に載せる。
- (2) コップの質量をキャンセルするために、天秤のキャンセルキー「TARE」を押す。
- (3) ビーカーに水道水（約 150ml）を入れ、これをコップに注ぐ。
- (4) この水の重さを記録（ $m'$ ）する。
- (5) コップをジュール熱実験装置に戻す。
- (6) コップの中のスターラーが回転するように、実験装置したのつまみを調整する。
- (7) ふたをして、温度が一定になるまで待って、水の温度（ $\theta_0$ ）を測定する。
- (8) 氷をビーカーに入れ、冷たい水を作る。
- (9) 100ml のビーカーに冷えた水（約 100ml）を入れ、温度計で温度（ $\theta'$ ）を手早く測定する。
- (10) 天秤に何も載せていない状態でキャンセルキー「TARE」を押し、「ビーカー+冷えた水」の重さ（ $w_1$ ）を測定する。
- (11) 実験装置のふたを開け、冷えた水を注ぐ。
- (12) 天秤で空のビーカーの重さ（ $w_2$ ）を測定し、注いだ水の質量  $m''$  を  $m'' = w_1 - w_2$  から求める。
- (13) ジュール熱実験装置の温度計が一定の値（ $\theta''$ ）になるまで待って測定する。ただし、いつ平衡状態になっているか分からないので、5分、10分、15分などの時間に温度を測定してそのつど下記の式を用いて計算してみると良い。
- (14) 温度の補正（重要）：温度計と電子温度計の表示には差がある。ビーカーに冷たい水 100ml を入れ、温度計で (9) で入れた水とほぼ同じ温度になっていることを確認して、電子温度計との差を補正する。アルコール温度計と電子温度計では約 1℃ の差がある。

$m', \theta_0$  : 最初に入れた水の質量と温度、 $m'', \theta'$  : 冷たい水の質量と温度、 $\theta''$  : 平衡状態になった温度、右辺は加えた熱量で左辺は受け取った熱量である。やり直す場合は、白いプラスチックコップの水を拭いてから (1) に戻って行うこと。

$$m'(\theta'' - \theta_0) + \omega(\theta'' - \theta_0) = m''(\theta' - \theta'') \quad \omega = 8 \sim 14g$$

## [2] 熱の仕事当量 $J$ の測定

- (1) ジュール熱実験装置中のプラスチックコップを取り出し、ティッシュで中を拭いて天秤に載せる。
- (2) コップの質量をキャンセルするために、天秤のキャンセルキー「TARE」を押す。
- (3) ビーカーに水道水（約 310ml）を入れ、これをコップに注ぐ。注意：水は電熱線が完全に浸るまでの量（約 310g）を入れること。
- (4) この値 ( $m$ ) を記録する。
- (5) コップを実験装置へ戻し、スターラーが回転するように、つまみを調節する。
- (6) ふたをして、電流系、電圧計、電源を配線図（図 2）を見て接続する。
- (7) 電流  $I$  を 600mA 流し、電圧  $V$  を測定する。更に、経過時間と温度を 1 分間隔で 10 分間測定を行う。（図 3 参照）
- (8) 水を捨てて、条件を同じにするために水を前に入れた同じ量を入れて、同じ状態にする。
- (9) 電流  $I$  を 800mA 流し、同様の操作を行い測定を行う。
- (10) 再度同様の操作を行い、電流  $I$  を 1000mA 流して測定を行う。
- (11) 時間  $t$  と温度  $T$  のグラフを書き、傾きを求める。このとき、横軸の単位（時間）は秒とする。
- (12) 以下の式から、各電流の違いによる熱の仕事当量  $J_0 = 4.186(\text{J/cal})$  を求める。

$$J_0 = \frac{V \times I \times t}{(\omega + m)(\theta_2 - \theta_1)} = \frac{V \times I}{(\omega + m)} \frac{1}{\text{傾き}}$$

## [3] クロメル-アルメル (K) と鉄-コンスタンタン (J) 熱電対の温度と起電力の関係

- (1) ジュワー瓶に氷と水を入れ、 $0^\circ\text{C}$  の氷水を作る。
- (2) 測定用の (K) と (J) 熱電対を図 3 を見て、接続する。図 3 中の CA 熱電対は (K) 熱電対で、IC 熱電対は (J) 熱電対を表す。
- (3) 電圧計の端子は (K) 熱電対のときには端子 K へ、(J) 熱電対のときには端子 J へ接続する。
- (4) 測定は電気炉の温度設定を上げながら（ $200^\circ\text{C}$  まで）両方の熱電対の電圧を測定する。ただし、熱電対の切り替えはワニグチクリップを冷接点接続器の CA 熱電対と IC 熱電対へ付け替えることで行う。
- (5) 温度  $T$  と測定電圧  $V$  のグラフを書き、ほぼ直線になっている温度範囲（ $50\text{-}200^\circ\text{C}$ ）の傾きからそれぞれのゼーベック係数  $S$  を求める。

熱電対は、2つの異種金属を接触させて、その接点から温度に応じた小さな開回路電圧を発生させることによって作成する。この熱起電力は 1821 年にトーマス・ゼーベックが発見したことから、彼の名前を取ってゼーベック電圧として知られている。この電圧は温度に関して非線形であるが、温度の変化が小さい場合には、電圧はほぼ線形になる。この電圧と温度の関係は次の式で導かれます。

$$\Delta V = S \Delta T$$

$\Delta V$  が電圧の変化だとすると、 $S$  がゼーベック係数、 $\Delta T$  が温度の変化を示す。

## 1、はじめに

このたびは、高精度ジュール熱実験装置JK-200をご採用いただきまことにありがとうございます。

本装置は、電流による熱作用の実験、および熱の仕事当量“J”の測定実験に使用することができるものです。

## 2、装置の構成

装置の内容はつぎのとおりです。開梱されましたら、部品がそろっているか、確認してください。

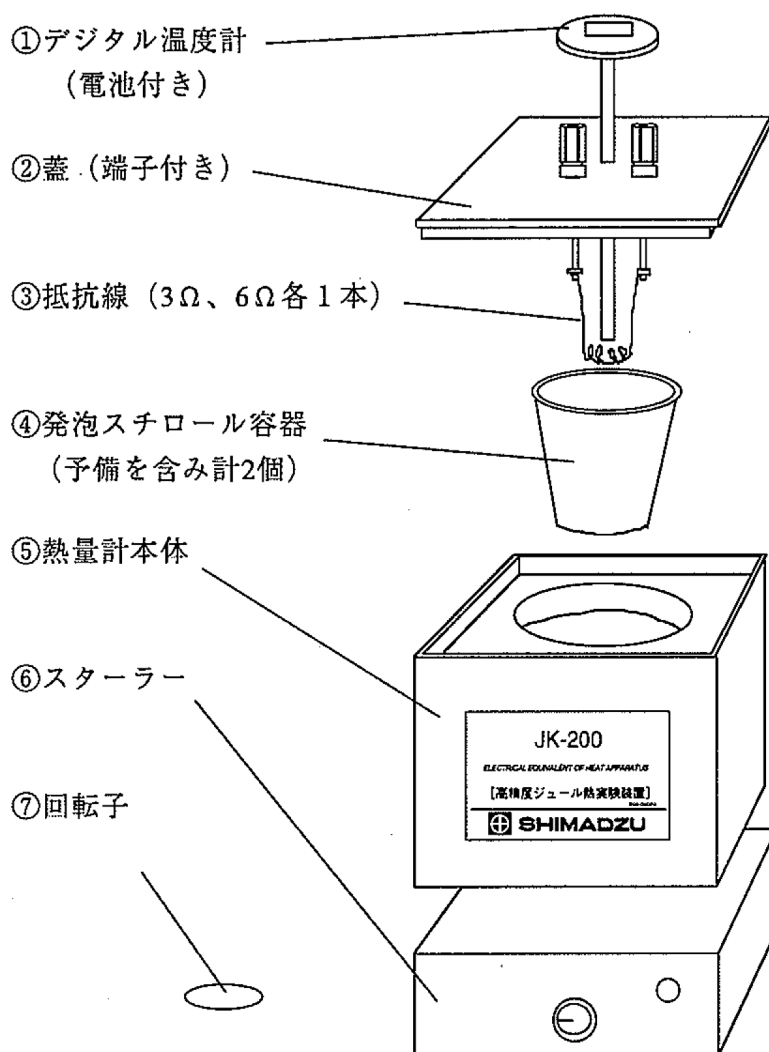


図1 装置の構成

### 3、使用方法

- ①最初に測定する ( $3\Omega$ もしくは $6\Omega$ ) 抵抗線の両端を端子の取付け穴に差し込んで、ナットで固定します。
- ②蓋に温度計をセットします。一度ゴム栓を取り外した後温度計をゴム栓の穴に差し込んで、ゴム栓と一緒に蓋の上に差し込みます。
- ③熱量計本体をマグネチックスターラーの上に載せます。図2のように組立、配線します。(電流計、電圧計、電源装置は6項関連機器をご参照ください。)
- ④発泡スチロール容器中に約200mlの水を入れ、天秤ではかり、水の質量を求めます。
- ⑤回転子を水を入れた発泡スチロール容器中に入れて、回転子が容器の中心にくるように熱量計本体の位置を調整してください。マグネチックスターラーの電源プラグを電源コンセントに差し込んで、電源、速度調整兼用ツマミを時計方向に回し、回転子が回転し初める位置に設定し、回転子が回転している状態で蓋をかぶせて、実験を行います。
- ⑥ご使用後は、容器内部の水を捨てて中を乾燥させ保管してください。

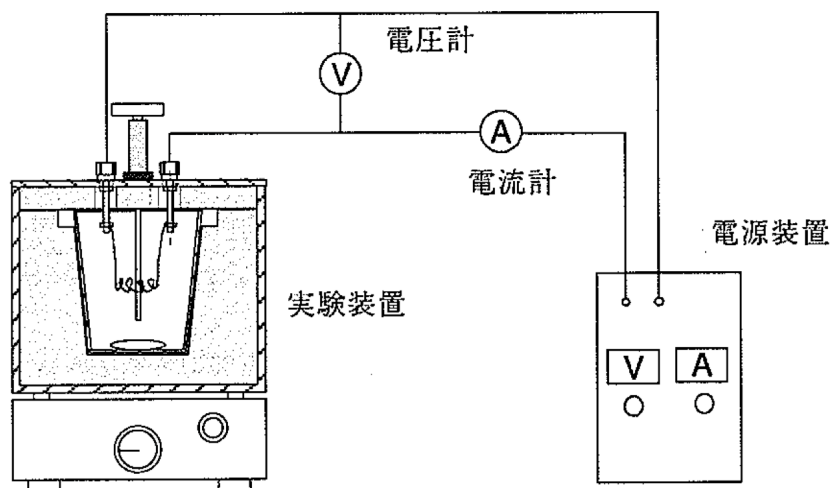


図2 配線図

### 4、攪拌による水温の影響

本装置はマグネチックスターラーを用い、実験中の攪拌を行います。その攪拌による水温への影響は攪拌10分間で $0\sim 0.1^{\circ}\text{C}$ 程度です。

# マグネチックスターラ SST-35

## 1. はじめに

このたびは、マグネチックスターラ SST-35 を、お買い上げいただき、まことにありがとうございます。本器は、開放された容器はもちろん、密閉容器を用いての溶液の混合や滴定時の攪拌などに用いることができます。

お求めいただきました装置のはたらき、注意事項をよくしっていただき、正しくご使用いただくためにこの取扱説明書をご一読のうえ、ご使用ください。

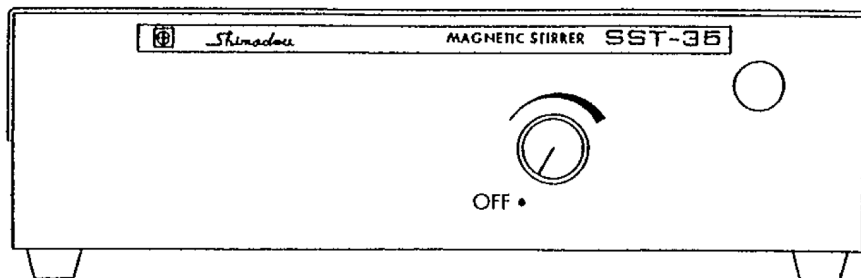


図-1 外 観 図

## 2. 仕 様

攪 拌 容 量	100~3000ml
回 転 数	100~2000rpm
ス テ ー ジ	200×180mm SUS 製
モ ー タ	DC モーター
電 源 容 量	AC100V, 50/60Hz, 0.5A
外 形 寸 法	幅 170×奥行 170×高さ 57mm
重 量	約 1.2kg
付 属 品	回転子 30mm, 1 個

## 概要

各種熱電対による起電力，および熱電対による温度測定など熱起電力の基礎的な知識と使用法が理解できる装置です。

## 定格

電源	AC100V 50-60Hz
消費電力	150W
大きさ	W400×D280×H220
重さ	7kg
使用温度範囲	室温～300℃

## 装置

熱電対 K (クロメル-アルメル) SUS保護管入り 4.8φ×300mm	(青) 1本
J (鉄・コンスタンタン)	(黄) 1本
T (銅・コンスタンタン)	(茶) 1本
直流 mV 指示計 (15mV)	1台
冷接点接続器 (2点用)	1台
電気炉 (温度調節器付)	1台
温度目盛用透明板	1枚
絶縁銅導線	1組

## 実験例

### 1 熱起電力の実験

#### 目的

熱電効果 (ゼーベック効果) によって熱電対に発生する起電力を測定します。

#### 装置・器具

熱電対 (K, J, T) SUS 保護管入り 3.8φ×300mm	各1本
直流 mV 指示計 (15mV)	1台
電気炉 (温度調節器付)	1台

#### 方法

- (1) 電気炉，熱電対 (たとえばK熱電対) mV計を図1のように接続します。

熱電対は極性を間違えないように接続してください。

#### 熱電対の極性

K	: 十極=赤, 一極=白
J	: 十極=赤, 一極=白
T	: 十極=赤, 一極=白

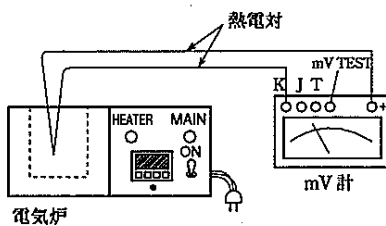


図1

- (2) mV計は+端子と K, J, T, mV TEST端子がありますが、各端子には補正用の抵抗を入れていますので熱電対の記号に合わせて端子を選択してください。mV TEST端子は基準mV電源によってメーターの校正をするためのものです。
- (3) 電気炉には熱電対をそう入する穴が3つあります。これは熱電対を比較するときの便をはかるためです。
- (4) POWERスイッチがOFFになっていることを確認してAC電源コードをAC100V電源に接続します。
- (5) 電気炉のPOWERスイッチONにし、温度調節器のOUT/OFFボタンを長押しして上段の赤色のデジタル表示温度を読み取ります。
- (6) 温度調節器のMODEボタンを1回押しして温度設定モードにします。(上段赤色デジタル表示が「」を表示)
- (7) 下段緑色デジタル表示を調節し、適当な温度に設定してください。
- (8) 電気炉の温度が上昇するにしたがってmV計の指示が変化することにより熱電対に熱起電力が発生・変化していることを確認する。温度上昇は温度調節器で確認します。
- (9) 次に熱電対を変え(J, T)上記の操作を行い熱電対の種類の違いによる起電力の違いを習得します。

#### 考 察

1. 熱電効果(ゼーベック効果)について理解する。
2. 温度と起電力の関係を各熱電対について調べる。

#### 注 意 事 項

1. 電気炉の温度を高温に上げた場合やけどなどしないよう充分注意してください。
2. 熱電対は極性を間違えないように接続してください。

## 2 熱電温度計の実験

### 目 的

熱電対を用いた熱電温度計のしくみや利用のしかたなどを実習します。

### 装 置 ・ 器 具

熱電対(K, J)	各1本
直流mV指示計	1台
冷接点接続器(2点用)	1台
電気炉	1台
温度目盛用透明板	1枚
絶縁銅導線	1組

- (10) 温度対熱起電力のグラフを描け。
- (11) 標準熱起電力表と比較して各測定点の誤差をグラフに表せ。

## 方 法

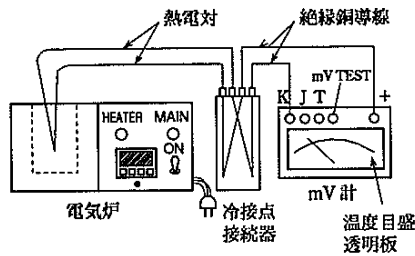


図2

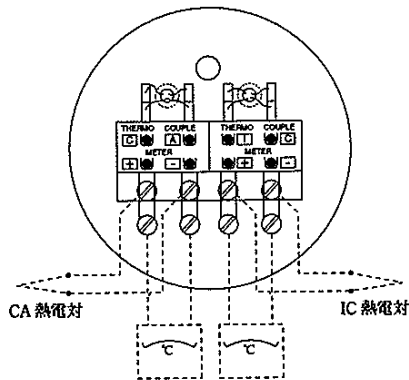


図3 熱電対用冷接点接続器, 接続図

## 考 察

1. JIS規格 (JIS C 1602) の熱起電力表と実測値を比較する。
2. 熱電温度計のしくみ, 利点, 使用用途を調べてみる。
3. 冷接点接続器の必要性を考える。

## 注 意 事 項

1. 長時間実験を行う場合, 冷接点接続器に削氷を補充してください。

- (1) 冷接点器に削氷を入れ冷接点部を0℃にします。
- (2) 図2, 図3のように電気炉, 熱電対 (たとえばK熱電対) 冷接点器, 絶縁銅導線mV計を接続します。  
熱電対を冷接点器に接続する場合, 極性, 種類を間違えないように注意してください。
- (3) 電気炉のPOWERスイッチがOFFになっていることを確認してACコードをAC100V電源に接続します。
- (4) 電気炉のPOWERスイッチをONにし, 温度調節器のOUT/OFFスイッチを長押ししてONにします。
- (5) 電気炉の設定温度を少しずつ増加させて炉の温度を上昇させてください。上昇温度を例えば20℃ステップで温度調節器の指示及びmV計の熱起電力を読み取りグラフにプロットします。  
この操作をJ熱電対についても行い, 熱電対の種類の違いによる温度-起電力曲線が異なることを習得します。T用の冷接点はありませんので実習はK-T熱電対で行ってください。
- (6) (5)項の操作の中で温度-起電力曲線を作成するかわりに, 温度目盛用透明板をmV計の目盛板の上ののせ, マジックインキなどで直接温度を目盛ることができます。  
温度目盛用透明板に目盛られた温度表示目盛を利用して電気炉の温度以外の温度, たとえば水の沸とう温度などを測定し, 熱電温度計のしくみや利用方法について習得します。



参考資料

クロメル-アルメル熱電対 (JIS 記号 K (CA))

熱起電力表

単位：mV

温度℃	-100	-0	温度℃	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	温度℃
-10	-3.553	0.000	0	0.000	4.095	8.137	12.207	16.395	20.640	24.902	29.128	33.277	37.325	41.269	45.108	48.828	52.398	0
-20	-3.852	-0.392	10	0.397	4.508	8.537	12.623	16.818	21.066	25.327	29.547	33.686	37.724	41.657	45.486	49.192	52.747	10
-30	-4.138	-0.777	20	0.798	4.919	8.938	13.039	17.241	21.493	25.751	29.965	34.095	38.122	42.045	45.863	49.555	53.093	20
-40	-4.410	-1.156	30	1.203	5.327	9.341	13.456	17.664	21.919	26.176	30.383	34.502	38.519	42.432	46.238	49.916	53.439	30
-50	-4.669	-1.527	40	1.611	5.733	9.745	13.874	18.088	22.346	26.599	30.799	34.909	38.915	42.817	46.612	50.276	53.782	40
-60	-4.912	-1.889	50	2.022	6.137	10.151	14.292	18.513	22.772	27.022	31.214	35.314	39.310	43.202	46.985	50.633	54.125	50
-70	-5.141	-2.243	60	2.436	6.539	10.560	14.712	18.938	23.198	27.445	31.629	35.718	39.703	43.585	47.356	50.990	54.466	60
-80	-5.354	-2.586	70	2.850	6.939	10.969	15.132	19.363	23.624	27.867	32.042	36.121	40.096	43.968	47.726	51.344	54.807	70
-90	-5.550	-2.920	80	3.266	7.338	11.381	15.552	19.788	24.050	28.288	32.455	36.524	40.488	44.349	48.095	51.697	-	80
-100	-5.730	-3.242	90	3.681	7.737	11.793	15.974	20.214	24.476	28.709	32.866	36.925	40.879	44.729	48.462	52.049	-	90
-100	-5.891	-3.553	100	4.095	8.137	12.207	16.395	20.640	24.902	29.128	33.277	37.325	41.269	45.108	48.828	52.398	-	100

鉄-コンスタンタン熱電対 (JIS 記号 J (IC))

熱起電力表

単位：mV

温度℃	-100	-0	温度℃	0	100	200	300	400	500	600	700	800	温度℃
-0	-4.63	0.00	0	0.00	5.27	10.78	16.33	21.85	27.39	33.10	39.13	45.50	0
-10	-5.04	-0.50	10	0.51	5.81	11.33	16.88	22.40	27.95	33.68	39.75	46.14	10
-20	-5.43	-1.00	20	1.02	6.36	11.89	17.43	22.95	28.51	34.27	40.38	46.79	20
-30	-5.80	-1.48	30	1.54	6.91	12.44	17.98	23.50	29.08	34.87	41.01	47.43	30
-40	-6.16	-1.96	40	2.06	7.46	13.00	18.54	24.05	29.64	35.46	41.65	48.08	40
-50	-6.50	-2.43	50	2.59	8.01	13.55	19.06	24.61	30.21	36.07	42.28	48.72	50
-60	-6.82	-2.89	60	3.12	8.56	14.11	19.64	25.16	30.78	36.67	42.92	49.35	60
-70	-7.12	-3.34	70	3.65	9.11	14.66	20.19	25.72	31.36	37.28	43.56	49.99	70
-80	-7.40	-3.79	80	4.19	9.67	15.22	20.74	26.27	31.93	37.89	44.21	50.62	80
-90	-7.66	-4.22	90	4.73	10.22	15.77	21.30	26.83	32.51	38.51	44.85	51.25	90
-100	-7.89	-4.63	100	5.27	10.78	16.33	21.85	27.39	33.10	39.13	45.50	51.88	100

銅-コンスタンタン熱電対 (JIS 記号 T (CC))

熱起電力表

単位：mV

温度℃	-100	-0	温度℃	0	100	200	300	温度℃
-0	-3.378	0.000	0	0.000	4.277	9.286	14.860	0
-10	-3.656	-0.383	10	0.391	4.749	9.820	15.443	10
-20	-3.923	-0.757	20	0.789	5.227	10.360	16.030	20
-30	-4.177	-1.121	30	1.196	5.712	10.905	16.621	30
-40	-4.419	-1.475	40	1.611	6.204	11.456	17.217	40
-50	-4.648	-1.819	50	2.035	6.702	12.011	17.816	50
-60	-4.865	-2.152	60	2.467	7.207	12.572	18.420	60
-70	-5.069	-2.475	70	2.908	7.718	13.137	19.027	70
-80	-5.261	-2.788	80	3.357	8.235	13.707	19.638	80
-90	-5.439	-3.089	90	3.813	8.757	14.281	20.252	90
-100	-5.603	-3.378	100	4.277	9.286	14.860	20.869	100

# 熱電対用冷接点接続器

このたびは電対用冷接点接続器をお買い上げいただきありがとうございます。  
この商品はクロメル・アルメル（K：旧名CA）及び鉄・コンスタンタン（J：旧名IC）熱電対を接続するための冷接点接続器です。

## 1 内容部品

ステンレス製ジュワーびん 500ml	1本
同上用ふた 端子板付き	1個
棒状温度計 -20℃～100℃	1本

## 2 冷接点素子

K熱電対（クロメル・アルメル）用	1組
J熱電対（鉄・コンスタンタン）用	1組

## 3 接続

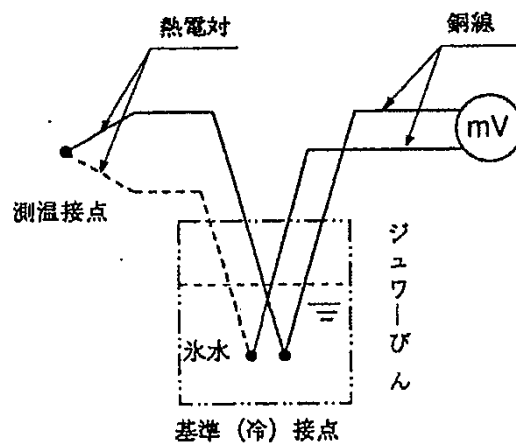


図1 接続原理

図1に示すように外付けの熱電対の接続点を、测温接点として測定点にセットして、他端は基準冷接点として0℃に保ちます。

基準冷接点から銅線で指示計（ミリボルトメーター）、又は電位差計などに接続して熱起電力を測定します。

#### 4 実体接続

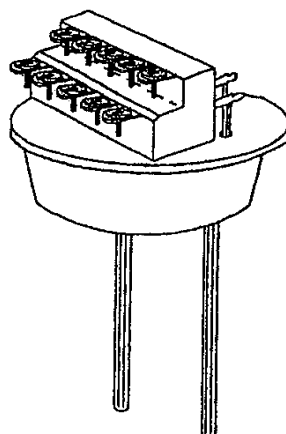


図 2 外観図

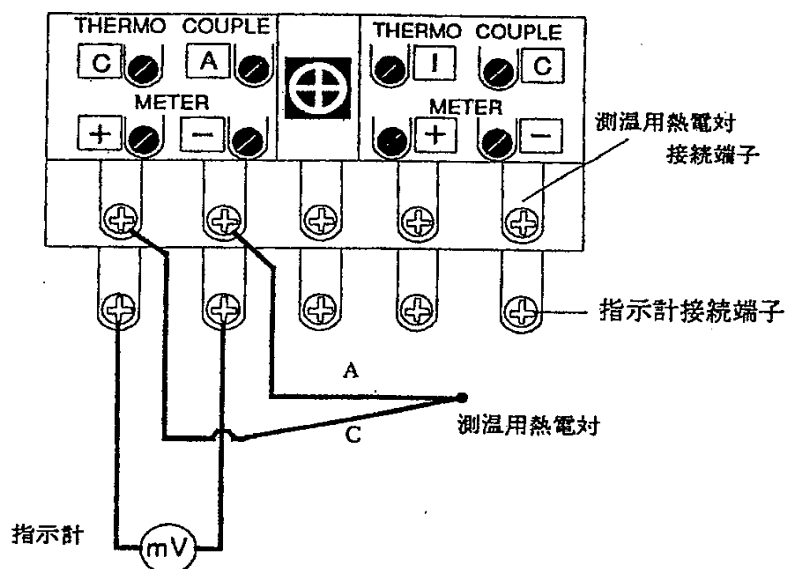


図 2 実体接続図

ふたに取り付けられている端子板の表示にしたがって指示計及び、記載の熱電対を接続してください。

#### 5 使用方法

- 1) ジュワーびんに氷水を入れ、棒状温度計にて0℃近辺の一定温度に保ちます。
- 2) ふたをして基準冷接点の入ったガラス管が氷水の中に十分浸ることを確かめてジュワーびんのふたをします。
- 3) 测温用熱電対及び極性に注意して指示計を接続して熱起電力を測定し、温度に換算します。

5、実験例

1) 電流による熱作用の実験

①一定電流による発熱は抵抗に比例することを検証する。

発泡スチロール容器に一定量(約200ml)の水を入れ、回転子を水入り容器の中に入れ、スターラーの速度調整ツマミを時計方向に回し、回転子を回転し始める位置に設定し、蓋をかぶせて、抵抗線に一定の強さの電流(2A)を約5分間通じたときの温度上昇から、発熱量 $Q_{ジュール}=m/J(\theta_2-\theta_1)$ 、(mは水の質量、 $\theta_1$ は最初の水温、 $\theta_2$ は5分後の水温)を算出します。つぎに抵抗線をとりにかえ、同様にして同じ強さの電流を同じ時間通じたときの温度上昇から発熱量を算出し、両者を比較します。

②抵抗値が等しいときの発熱量は電流の2乗に比例することを検証します。発泡スチロール容器に一定量(約200ml)の水を入れ、回転子を容器中に入れ、スターラーの速度調整ツマミで、回転子が回転し初める位置に設定し、蓋をかぶせて、抵抗線に1Aの電流を5分間通じたときの温度上昇を計り、発熱量を算出します。つぎにその抵抗線に2Aの電流を、同時時間(5分)通じたときの発熱量を算出し、両者を比較します。

2) ジュール熱による熱の仕事当量の測定

熱の仕事当量をJ joule/calとすれば、次の式が成り立ちます。

(理論値 $J_0=4.186J/cal$ )

$$J_0 = \frac{V \times I \times t}{(\omega + m) (\theta_2 - \theta_1)} \quad [J/cal]$$

式中、Vは電圧(V)、Iは電流(A)、tは電流供給時間(s)、mは水の質量(g)、 $\theta_1$ は電流供給開始時の水温(°C)、 $\theta_2$ は電流供給停止時の水温(°C)です。

$\omega$ は発泡スチロール容器、回転子と温度計の全水当量で、ここでは、測定法による熱量計の全水当量を求めます。(測定結果： $\omega$ の平均値約3.9g)

(1)  $\omega$  (水当量) の測定

ビーカーに約150mlの水を入れ、その質量を天秤で測ります。その水を発泡スチロール容器に移し、再びビーカー(少量の水が残るため)の質量を計り、発泡スチロール容器に入れた水の質量 $m'$ (例123.2g)を求めます。熱量計に蓋をし攪拌して、温度計の示度 $\theta_0$ °C(例25.9°C)を読み取ります。つぎにビーカーに新たに約100mlの水を秤量し(以上と同じ方法でこの水の質量 $m''$ (例98.7g)を求めます)、そしてそのままガスバーナーなどで熱し温度が $\theta_1$ °C(例50°C)になったとき、この水を発泡スチロール容器に加え(60°C以

上の水は加えないでください)、攪拌し、温度計の示度がおちついたところでの読み $\theta$ °C(例36.1°C)をとります。 $\omega$ は次式で求められます。

$$\omega = m'' \frac{\theta' - \theta''}{\theta'' - \theta_0} - m' \quad [g]$$

上記結果をまとめると $\omega=3.83g$ です。

(2) 熱の仕事当量の測定

①発泡スチロール容器の中に回転子を入れ質量 $m_1$ を天秤で測定します。

②発泡スチロール容器に一定量(約200ml)の水を入れ、回転子を水容器中に入れて、質量 $m_2$ を天秤で測定し、その値から $m_1$ を差し引いて水の質量 $m$ を求めます。測定例：水の質量 $m=219g$

③水を入れた容器を熱量計本体中に置き、スターラーの速度調整ツマミを時計方向に回し、回転子を適当な回転速度に設定してから蓋をかぶせて、温度計で水の温度を1分間隔で、3分間測定します。

④図2のように配線した回路で電源を入れ、電流 $I=2A$ 流します。(電圧 $V=10.7V$ )温度計で水の温度を1分間隔で、10分間測定します。

⑤測定結果より、次の式で熱の仕事当量を求めます。

$$J_0 = \frac{V \times I \times t}{(\omega + m) (\theta_2 - \theta_1)} \quad [J/cal]$$

測定結果：

熱量計の水当量 $\omega=3.83g$ 、電流： $I=2A$ 、電圧： $V=10.7V$ です。水の質量 $m=219g$ 、時間： $t=600s$ の場合測定結果を図3に示します。上式より計算結果は $J_0=4.205 J/cal$ となります。

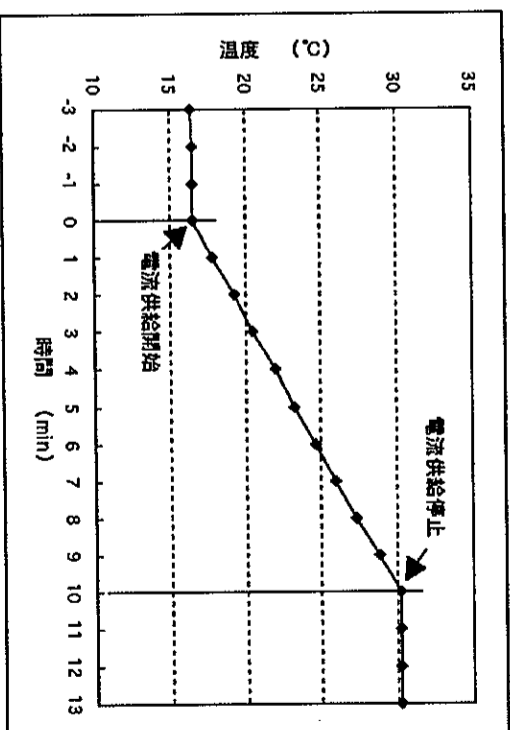


図3 測定結果