

航空宇宙工学実験 I

6. 温度測定（熱電対温度計）

日本大学理工学部航空宇宙工学科
2 年 3 班 2038 番 川嶋 滉希

実験日 : 2023 年 5 月 2 日
予習提出 : 2023 年 5 月 2 日
最終提出 : 2023 年 5 月 9 日
再提出 : 2023 年 5 月 16 日

概要

水銀温度計と熱電対温度計を用いて,静特性と動特性について理解する.また,熱電対の性質(三法則)について三つの法則が結果にどのような影響を及ぼすのかを実験を実施して確かめる.

目的

1. 実験目的	4
2. 理論	4
2.1 熱力学的温度と熱の関係	4
2.2 膨張温度計, 熱電対温度計	5
2.3 示度の遅れ	5
2.4 零位法	6
3. 実験	6
3.1 実験装置	6
3.2 実験方法	11
4. 実験結果	12
4.1 実験 1	13
4.2 実験 2	14
4.3 実験 3	34
5. 考察	37
5.1 実験 1	37
5.2 実験 2	38
5.3 実験 3	38
6. 結論	39
参考文献	39
課題	39

1. 実験目的

熱電対温度計のセンサの静的な特性,つまり測定したい温度とセンサによって測定される電圧の関係と動的な特性について調べ,熱電対を温度計として使用するときには注意しなければならない点について調べる.また,2種類の金属導体を電氣的に接続して閉回路を作り,どちらかの端を加熱や冷却といった形で温度差を与え,回路に電流が流れるゼーベック効果を利用しそれによる熱起電力の値から温度を求める.

2. 理論

2.1 熱力学的温度と熱の関係

熱機関の目的は熱源から動力を取り出すことである.与えた熱エネルギーがどれだけ動力に変わったのかを示す値が熱効率である.カルノーサイクルでは高温熱源と低温熱源の温度差によって熱機関の効率が決まることがわかる.熱源 A,B において任意の温度 T_A, T_B 両熱源 Q_A, Q_B とし,カルノーサイクルの熱効率 η は次式で表すことができる.

$$\eta = (T_A - T_B) / T_B = (Q_A - Q_B) / Q_B \quad (1)$$

となる,つまり

$$T_A / T_B = Q_A / Q_B \equiv \kappa_{A,B} \quad (2)$$

となるようにする.このような温度を熱力学温度という.

次に,温度計についてです.温度計は大きく分けて「1次温度計」「2次温度計」に分類される.1次温度計とは,熱力学温度と直接対応する物理量を測定することで温度が決定される温度計のことであり,温度標準の決定に用いられる.

一次温度計の特徴は,このように物理量の定義から温度が導かれるので,校正という概念がない点がある.温度標準(温度目盛)は国際的な取り決めとして温度域ごとに定義式が定められている.

二次温度計とは温度との対応が明確に関連付けられた別の量,例えば,電気抵抗値や液柱の高さ,出力される電圧などを測定することで温度を求める温度計のことをいう.

一般に流通しているほとんどの温度計はこの二次温度計に分類される.

次に,熱電対はどのように校正されるかを述べる.ケルビンは,熱力学温度の SI 単位であり,ボルツマン定数 K を単位 J K^{-1} で表したときに,その数値を 1.380649×10^{-23} と定められることによって定義される.

2.2 膨張温度計，熱電対温度計

膨張温度計には，気体温度計，液体温度計，固体温度計がある．

次に本実験で使用する水銀温度計について，その性質を述べる．水銀温度計は最も取り扱いの簡単な液体温度計のひとつである．これは水銀がガラス面をぬらさないこと，水銀温度計の目盛に沸点と氷点を基準の定点として利用できることなどの利点がある．水銀温度計は水銀の熱膨張の性質を利用して温度を測っている．水銀温度計の誤差要因としては，製造時の水分の侵入が考えられる．

次に，熱電対温度計の性質について述べる．2種類の異なる金属導体の両端を接続して閉回路を作り，一端を加熱などをして，両端に温度差を生じさせると，その金属の固有の熱起電力が発生して，回路中に電流が流れる．その現象ゼーベック効果と呼ぶ．この効果を利用して温度を測定する．熱電対は熱接点から基準接点までを熱電対でつなぐ必要があり，間に銅線など均質な金属を接続し各接点に温度差が生じる．

2.3 示度の遅れ

まず示度とは，計器が指し示す目盛の数値である．温度計における静特性とは，入力時間が時間に対して変化しない場合のことを指していて，感度，直線性などがある．反対に，動特性とは入力が時間によって変化することを指す．この特性は定常応答と過度応答でできている．

テキスト p102.(21)から(22)の式の導出は以下のとおりである．

$\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$ ， $c[\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}]$ ， $V[\text{m}^3]$ はそれぞれ温度計の密度，比熱，体積である．また，ニュートンの冷却の法則により，熱伝達率を $h[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$ ，温度計の表面積を $A[\text{m}^2]$ とすると

$$Q = -hA(T - T_\infty) \quad (3)$$

したがって，

$$\rho c V \frac{dT}{dt} = -hA(T - T_\infty) \quad (4)$$

変数分離法で解くと，

$$\int_{T_0}^T \frac{dT}{T - T_\infty} = - \int_0^t \frac{hA}{\rho c V} dt$$

この微分方程式を $t = [s]$ で $T = T_0[K]$ としておくと,

$$\theta = \frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = \exp\left[-\left(\frac{hA}{\rho cV}\right)t\right] \quad (5)$$

となる.

2.4 零位法

零位法とは, 測定量と独立に大きさを調整できる同種類の既知量を別に用意し, 既知量を測定量に平衡させて, そのときの既知量の大きさから測定値を知る方法である. 今回の実験の場合, 熱起電力が基準となる.

使用するガルバノメータとは, 日本語で検流計である. 電流を検出する精密な電流計の 1 種であり, メータの指針が振れることにより電流が流れたことを確認できる. 一般的な電流計は[A]で表示されるが, ガルバノメータは数値ではなく電流が流れているのか, 流れていないのかを見るためのものである. 実験 1 でガルバノメータの値が零になったのは, ガルバノメータの感度を徐々に上げていくとともに可変抵抗の値が低下していたからだと考えられる.

3. 実験

3.1 実験装置

- ・ 水銀温度計
- ・ 熱電対(T,K,J,E)
- ・ 保護管付熱電対(T,K)
- ・ ガルバノメータ最大感度 10[μ V/DIV], 最大入力電圧 5[V](図 1.1 参照)
(メーカー:YEW, 型番:02670)
- ・ 電流計(図 1.2 参照)
(メーカー:YEW, 型番:03557S)
- ・ 可変抵抗器(図 1.3 参照)
(メーカー:YAMABISHI ELECTRIC, 型番:M99-029)
- ・ 標準抵抗器 1[Ω](図 1.4 参照)
(メーカー:YAMABISHI ELECTRIC, 型番:M9-0339)
- ・ 魔法びん(図 1.5 参照)
(メーカー:市川真空工業製作所)
- ・ ペンレコーダ(図 1.6 参照)

(メーカー:YEW,型番:3066)

- ・サーモボックス(図 1.7 参照)

(メーカー:TOYO SEISAKUSHO,型番:TB-6)

- ・安定化電源(図 1.8 参照)

(メーカー:YAMABISHI ELECTRIC,型番:18-1)



図 1.1 ガルバノメータ



図 1.2 電流計



図 1.3 可変抵抗器

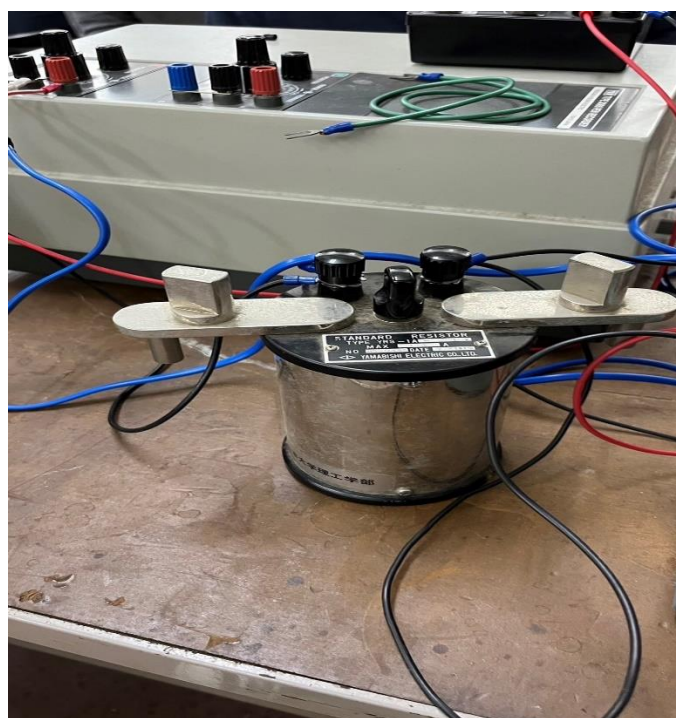


図 1.4 標準抵抗器



図 1.5 魔法びん

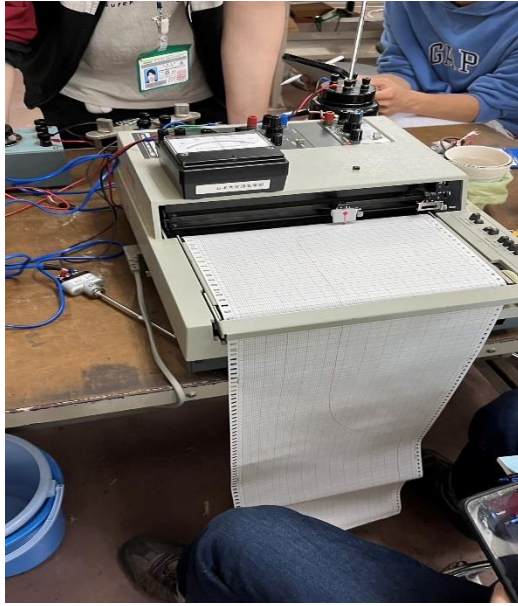


図 1.6 ガルバノメータ



図 1.7 サーモボックス



図 1.8 安定化電源

3.2 実験方法

実験 1.熱起電力の測定(熱電対の静特性)

T を含めた熱電対について,熱起電力の測定を零位法で行う.配線をし,結線を確認した後電源の電圧を約 1[V]に設定する.電流計は 10[mA]フルスケールとし,ガルバノメータの感度は最小,可変抵抗は最大にする.熱電対を沸騰水に入れ,ガルバノメータの感度を上げながら,ガルバノメータが零になるように可変抵抗を調整する.針が零になった時の電流計の読みに標準抵抗値 1[Ω]をかけたものが,その時の熱起電力である.

次に,熱電対を冷水の中に入れて同じように試験を行う.このとき電流の向きが先ほどと逆になるので注意すること.この場合は熱電対の接続をそれぞれ逆にとるとよい.

沸騰水と冷水の温度差による熱起電力 E [mV]を求め,熱電能 ΔE [$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$]を計算によって導く.なお,沸騰水および冷水の温度は水銀温度計で計測し,その測定値は補正して使用する.

特性の知られていない熱電対の場合, ΔE [$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$]を調べることで温度計として使用可能になる.

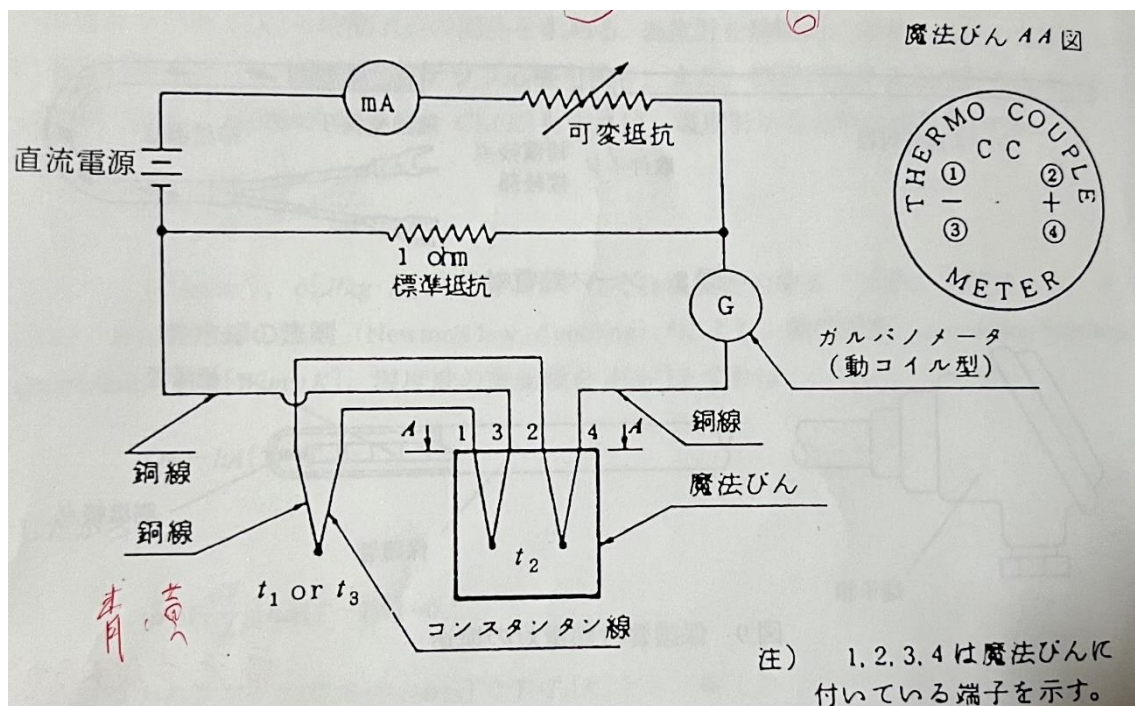


図 3.1

実験 2. 熱起電力と時間の関係

保護管付熱電対をペンレコーダに接続し, 50 度に加熱された湯の中に入れて熱起電力と時間の関係を調べる. 熱電対がほぼ一定になったら熱電対を大気中に放出し, 熱電対の冷却過程についても熱起電力と時間の関係を記録する. 同じ実験を大きさの異なる熱電対でおこなう.

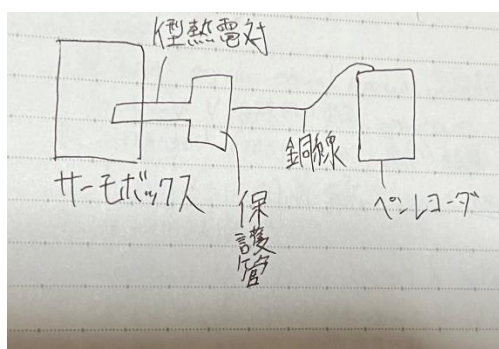


図 3.2 実験 2 の装置図

実験 3. 熱電対の均質回路, 中間金属の法則の確認

銅線に接続した T 熱電対をペンレコーダに接続し,湯の中に入れ,一定の熱起電力になったら,接合部①,②を体温で加熱し,熱起電力の変化を調べる.

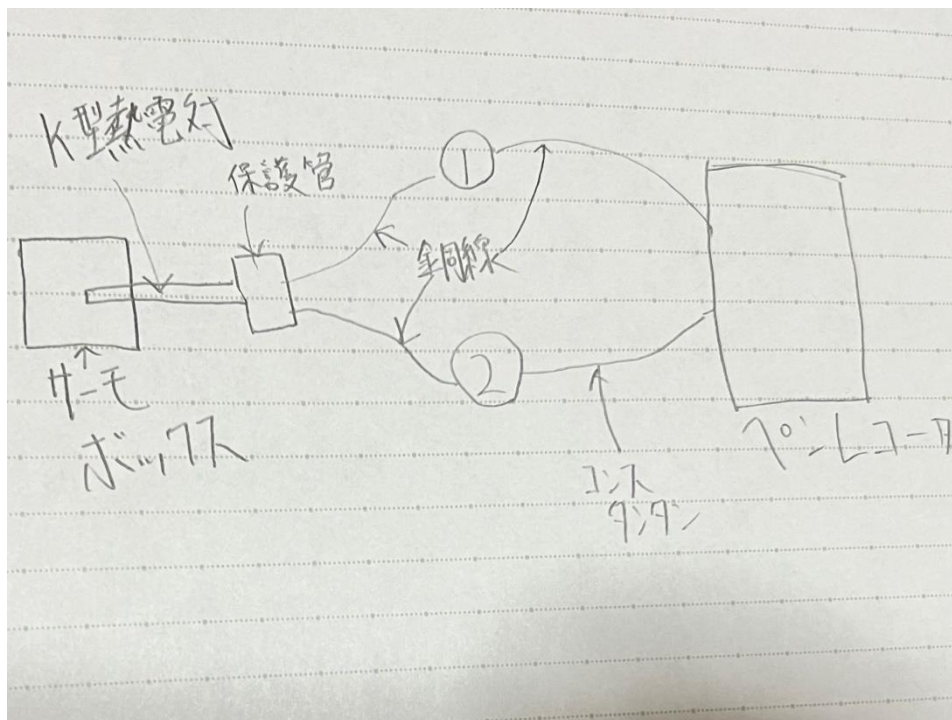


図 3.3 実験 3 装置図

4. 実験結果

4.1 実験 1

熱電対(青)の熱起電力を $\Delta E [\mu V/^{\circ}C]$, 補正值を Δ_H, Δ_L とし, ΔE を求める.

$$\Delta = \theta_2 (\theta_2 - \theta_1) (\alpha - 3\beta)$$

上記の式より, θ_2 は熱水温・冷水温, θ_1 は室温である. また, Δ_H を熱水温とし, Δ_L を冷水温とし, $(\alpha - 3\beta)$ は $1/6000$ とする.

値を代入すると,

$$\Delta_H = 71.1(71.1 - 24.1) \times 1/6000 \doteq 0.55695$$

$$\Delta_L = 4.75(4.75 - 24.1) \times 1/6000 \doteq -0.0153$$

となる. Δ_H, Δ_L より熱起電力 ΔE を求める.

$$\Delta E = \frac{V_1 + V_2}{(T_H + \Delta_H) - (T_L + \Delta_L)}$$

V_1, V_2 はそれぞれの電圧である. よって,

$$\Delta E = \frac{(1.96 \times 10^3 + 0.81 \times 10^3)}{(71.1 + 0.55695) - (4.75 - 0.0153)} = 41.39131604 \doteq 41.4$$

となる, 熱電対(黄)も同様に求めると,

$$\Delta_H = 61.1(61.1 - 24.1) \times 1/6000 \doteq 0.37678$$

$$\Delta_L = 4.50(4.50 - 24.1) \times 1/6000 \doteq -0.0147$$

よって, 熱起電力 ΔE は,

$$\Delta E = \frac{(1.98 \times 10^3 + 1.10 \times 10^3)}{(61.1 + 0.37678) - (4.50 - 0.0147)} = 54.04316 \doteq 54.0$$

となる.

4.2 実験2

実験2における気象条件

天気	晴れ
大気温度[°C]	24.5
湿度[%]	41

気圧[mmHg] 763.0

表 4.1

熱電対 K 型[太]の径

測定 1 回目[mm]	6.40
測定 2 回目[mm]	6.35
測定 3 回目[mm]	6.35
各測定の平均値[mm]	6.37

表 4.2

熱電対 K 型[太]の浸かった長さ

測定 1 回目[mm]	113.50
測定 2 回目[mm]	114.80
測定 3 回目[mm]	113.80
各測定の平均値[mm]	114.03

表 4.3

熱電対 K 型[細]の径

測定 1 回目[mm]	4.75
測定 2 回目[mm]	4.40
測定 3 回目[mm]	4.85
各測定の平均値[mm]	4.67

表 4.4

表 4.8 熱電対 K 型[細]の浸かった長さ

測定 1 回目[mm]	111.80
測定 2 回目[mm]	111.55
測定 3 回目[mm]	111.10
各測定の平均値[mm]	111.48

表 4.5

湯温とペンレコーダの詳細

	湯温[°C]	ペンレコーダ送り速度 [cm/min]	ペンレコーダレンジ [mV/cm]
熱電対 K 型(太)	56	2	0.1
熱電対 K 型(細)	55.6	6	0.1

表 4.6 ペンレコーダの詳細

熱電対(太)加熱時の温度,時間,電圧,無次元温度,無次元時間

時間	温度	V	無次元温度	無次元時間
t [s]	T [°C]	[mV]	θ [-]	τ [-]
0.00	24.50	0.00	1.0000	0.0000
1.50	25.98	0.06	0.9530	0.0820
3.00	27.94	0.14	0.8910	0.1639
4.50	29.91	0.22	0.8283	0.2459
6.00	31.88	0.30	0.7657	0.3279
7.50	33.85	0.38	0.7032	0.4098
9.00	35.57	0.45	0.6486	0.4918
10.50	37.29	0.52	0.5940	0.5738
12.00	38.77	0.58	0.5470	0.6557
13.50	40.25	0.64	0.5000	0.7377
15.00	41.48	0.70	0.4610	0.8197
16.50	42.71	0.75	0.4219	0.9016
18.00	43.94	0.80	0.3829	0.9836
19.50	44.92	0.84	0.3517	1.0656

21.00	45.91	0.88	0.3203	1.1475
22.50	46.89	0.92	0.2892	1.2295
24.00	47.63	0.95	0.2657	1.3115
25.50	48.37	0.98	0.2420	1.3934
27.00	48.86	1.00	0.2260	1.4751
28.50	49.60	1.03	0.2032	1.5574
30.00	50.09	1.05	0.1876	1.6393
31.50	50.58	1.07	0.1720	1.7213
33.00	51.07	1.09	0.1565	1.8033
34.50	51.57	1.11	0.1406	1.8852
36.00	51.81	1.12	0.1330	1.9672
37.50	52.06	1.13	0.1251	2.0492
39.00	52.30	1.14	0.1175	2.1311
40.50	52.55	1.15	0.1095	2.2131
42.00	52.80	1.16	0.1016	2.2951
43.50	53.04	1.17	0.0940	2.3770
45.00	53.29	1.18	0.0860	2.4590
46.50	53.53	1.19	0.0784	2.5410

48.00	53.78	1.20	0.0705	2.6230
51.00	54.03	1.21	0.0625	2.7869
54.00	54.27	1.22	0.0549	2.9508
57.00	54.52	1.23	0.0470	3.1148
60.00	54.67	1.24	0.0420	3.2787
63.00	54.81	1.25	0.0370	3.4426
66.00	54.96	1.25	0.0330	3.6066
69.00	55.06	1.25	0.0298	3.7705
72.00	55.16	1.26	0.0260	3.9344
75.00	55.31	1.27	0.0219	4.0984
78.00	55.54	1.27	0.0146	4.2623
81.00	55.76	1.27	0.0076	4.4262
84.00	55.88	1.28	0.0038	4.5902
87.00	55.93	1.28	0.0020	4.7541
90.00	55.95	1.28	0.0016	4.9180
93.00	56.00	1.28	0.0000	5.0820
96.00	56.00	1.28	0.0000	5.2490
99.00	56.00	1.28	0.0000	5.4098

表 4.7 熱電対 K 型(太)加熱

熱電対(太)冷却時の温度,時間,電圧,無次元温度,無次元時間

時間	温度	V	無次元温度	無次元時間
t [s]	T [°C]	[mV]	θ [-]	τ [-]
0.0	55.80	1.320	1.0000	0.000
7.5	54.32	1.260	0.9257	0.152
15.0	51.86	1.160	0.8520	0.303
22.5	49.89	1.080	0.7930	0.455
30.0	48.17	1.010	0.7415	0.600
37.5	46.45	0.940	0.7112	0.758
45.0	45.22	0.890	0.6733	0.909
52.5	43.74	0.830	0.6275	1.061
60.0	42.51	0.780	0.5896	1.212
67.5	41.53	0.740	0.5593	1.364
75.0	40.54	0.700	0.5287	1.515
82.5	39.56	0.660	0.4985	1.667
90.0	38.82	0.630	0.4756	1.818

97.5	37.84	0.590	0.4453	1.970
105.0	37.10	0.560	0.4225	2.121
112.5	36.12	0.540	0.3922	2.273
120.0	35.38	0.510	0.3694	2.424
127.5	34.89	0.490	0.3542	2.576
135.0	34.39	0.470	0.3388	2.727
142.5	33.66	0.440	0.3162	2.879
150.0	33.16	0.420	0.3008	3.030
157.5	32.67	0.400	0.2857	3.182
165.0	32.18	0.380	0.2705	3.333
172.5	31.69	0.360	0.2554	3.485
180.0	31.19	0.340	0.2400	3.636
195.0	30.46	0.310	0.2174	3.939
210.0	29.72	0.280	0.1946	4.242
225.0	29.23	0.260	0.1794	4.545
240.0	28.73	0.240	0.1640	4.848
255.0	28.24	0.220	0.1489	5.152
270.0	27.75	0.200	0.1337	5.455

285.0	27.26	0.180	0.1186	5.758
300.0	26.77	0.160	0.1035	6.061
315.0	26.52	0.150	0.0957	6.364
330.0	26.27	0.140	0.0880	6.667
345.0	26.03	0.130	0.0806	6.970
360.0	25.78	0.120	0.0729	7.273
375.0	25.53	0.110	0.0652	7.570
405.0	25.04	0.090	0.0500	8.182
435.0	24.55	0.070	0.0349	8.788
465.0	24.30	0.058	0.0272	9.394
495.0	24.06	0.046	0.0198	10.000
525.0	23.81	0.033	0.0120	10.606
555.0	23.66	0.023	0.0074	11.212
585.0	23.52	0.011	0.0031	11.818
615.0	23.42	0.000	0.0000	12.424

表 4.8 熱電対 K 型(太)冷却

加熱(太)の温度と時間の関係

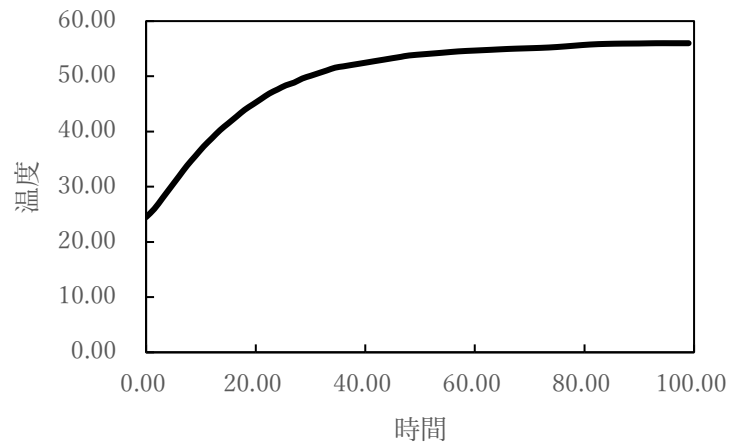


図 4.9 K 型太い熱電対の加熱時の温度と時間の関係

加熱(太)の無次元温度と時間の関係

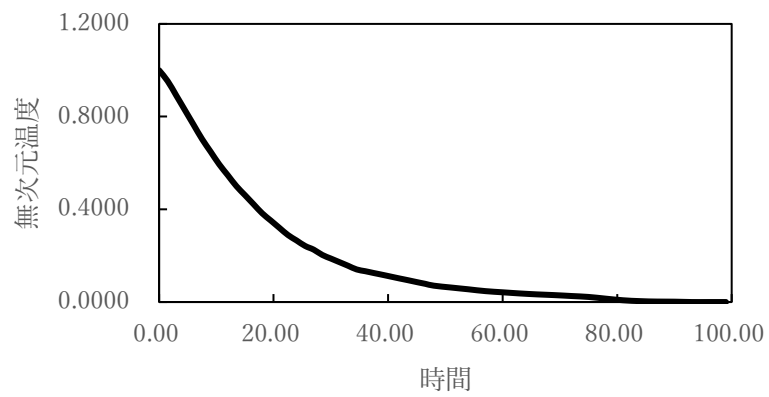


図 4.10 K 型太い熱電対の加熱時の無次元温度と時間の関係

加熱(太)の無次元時間と無次元温度の関係

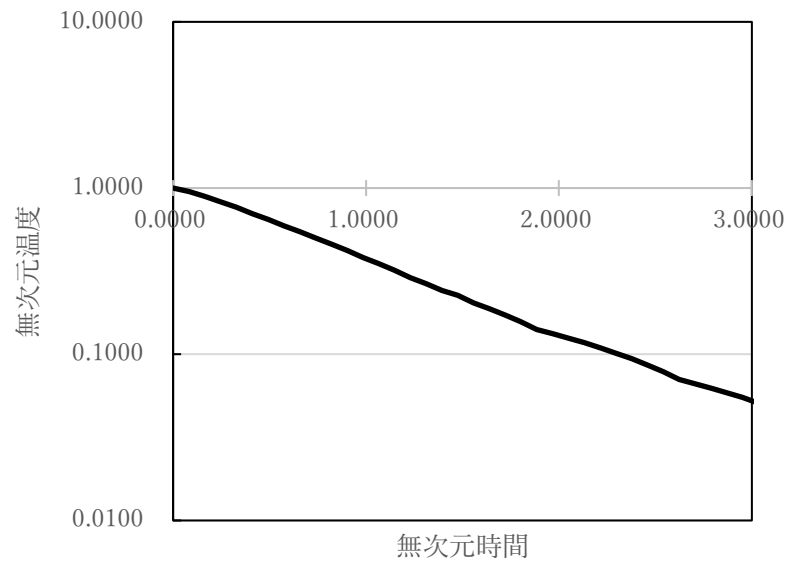


図 4.11 K 型太い熱電対の加熱時の無次元温度と無次元時間の関係

冷却(太)の温度と時間の関係

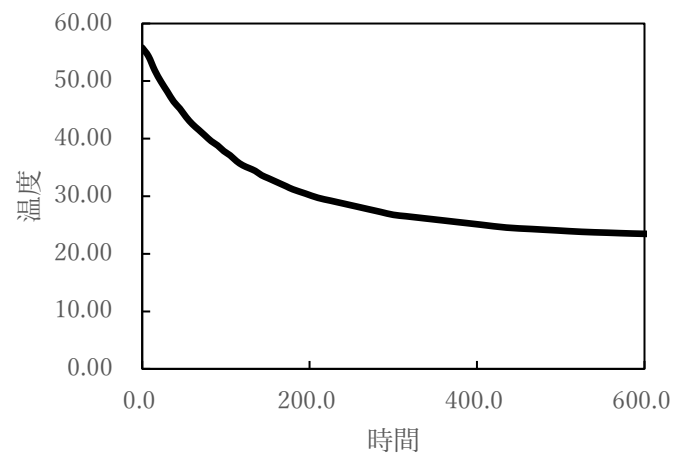


図 4.12 K 型太い熱電対の冷却時の温度と時間の関係

冷却(太)の無次元温度と時間の関係

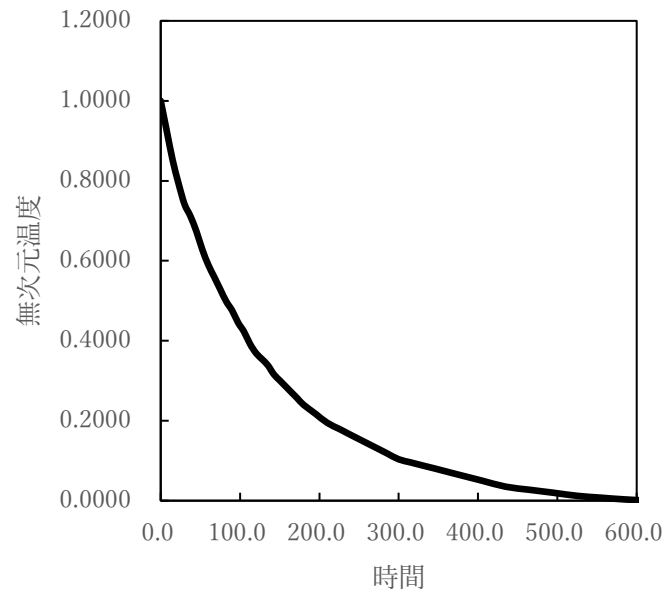


図 4.13 K 型太い熱電対の冷却時の無次元温度と時間の関係

冷却(太)の無次元温度と無次元時間の関係

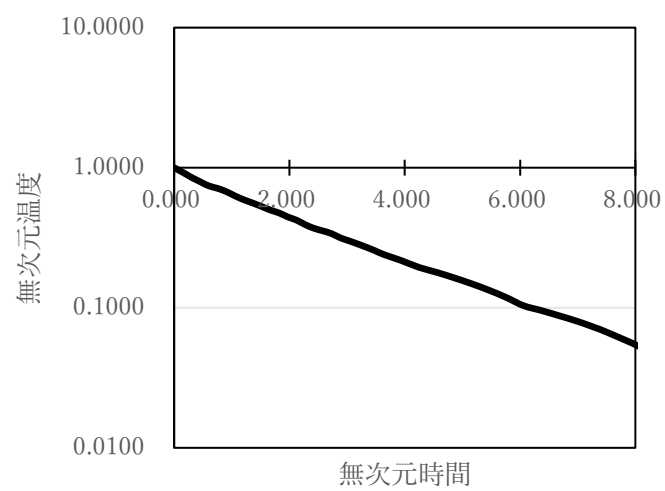


図 4.14 K 型太い熱電対の冷却時の無次元温度と無次元時間の関係

熱電対(細)における冷却時の時間,温度,無次元温度,無次元時間

時間	温度	無次元温度	無次元時間
$t[s]$	$T[^\circ\text{C}]$	$\theta [-]$	$\tau [-]$
0	55.4	1.0000	0
5	53.78	0.9505	0.098058
10	51.38	0.8771	0.196117
15	49.46	0.8183	0.294175
20	47.78	0.7670	0.392234
25	46.196	0.7185	0.490292
30	44.708	0.6730	0.588351
32.5	44.06	0.6532	0.63738
35	43.46	0.6349	0.686409
40	42.26	0.5982	0.784468
45	41.06	0.5615	0.882526
50	39.86	0.5248	0.980584
55	38.9	0.4954	1.078643
60	37.7	0.4587	1.176701
65	36.74	0.4294	1.27476

70	36.02	0.4073	1.372818
75	35.06	0.3780	1.470877
80	34.34	0.3560	1.568935
85	33.62	0.3339	1.666994
90	32.9	0.3119	1.765052
95	32.18	0.2899	1.86311
100	31.712	0.2756	1.961169
105	31.028	0.2547	2.059227
110	30.5	0.2385	2.157286
115	30.02	0.2239	2.255344
120	29.612	0.2114	2.353403
125	29.108	0.1960	2.451461
130	28.7	0.1835	2.54952
135	28.34	0.1725	2.647578
145	27.644	0.1512	2.843695
150	27.38	0.1431	2.941753
155	27.092	0.1343	3.039812
160	26.9	0.1284	3.13787

165	26.66	0.1211	3.235929
170	26.42	0.1138	3.333987
185	25.94	0.0991	3.628162
200	25.46	0.0844	3.922338
210	25.0616	0.0722	4.118455
220	24.932	0.0683	4.314571
230	24.74	0.0624	4.510688
245	24.5	0.0550	4.804864
260	24.308	0.0492	5.099039
275	24.044	0.0411	5.393214
280	24.0104	0.0401	5.491273
305	23.78	0.0330	5.981565
355	22.868	0.0051	6.962149
375	22.796	0.0029	7.354383
390	22.7	0.0000	7.648559

図 4.15 K 型細い熱電対の冷却時の表

熱電対(細)における加熱時の時間,温度,無次元温度,無次元時間

時間	温度	無次元温度	無次元時間
$t[s]$	$T[^{\circ}C]$	$\theta [-]$	$\tau [-]$
0.00	24.500	1.0000	0.0000
0.375	25.460	0.9691	0.0480
0.750	26.420	0.9681	0.0960
1.125	27.380	0.9074	0.1440
1.500	29.000	0.8553	0.1921
2.250	31.220	0.7839	0.2881
3.000	32.660	0.7376	0.3841
3.750	35.060	0.6605	0.4802
4.500	36.980	0.5987	0.5762
5.250	38.900	0.5370	0.6722
6.000	39.980	0.5023	0.7682
6.750	41.780	0.4444	0.8643
7.500	43.220	0.3981	0.9603
7.875	44.150	0.3682	1.0083
8.250	44.520	0.3563	1.0563
9.000	45.380	0.3286	1.1524

9.750	46.100	0.3055	1.2484
10.500	47.300	0.2669	1.3444
12.000	48.980	0.2129	1.5365
13.500	49.940	0.1820	1.7286
16.500	51.860	0.1203	2.1127
18.000	52.580	0.0971	2.3047
21.000	53.780	0.0585	2.6889
25.500	54.740	0.0277	3.2650
30.000	55.220	0.0122	3.8412
33.000	55.604	0.0001	4.2254
37.500	52.820	0.0894	4.8015
39.000	53.300	0.0740	4.9936
42.000	54.260	0.0431	5.3777
48.000	55.220	0.0122	6.1460
54.000	55.6	0.0000	6.9142

図 4.16 K 型細い熱電対の加熱時の表

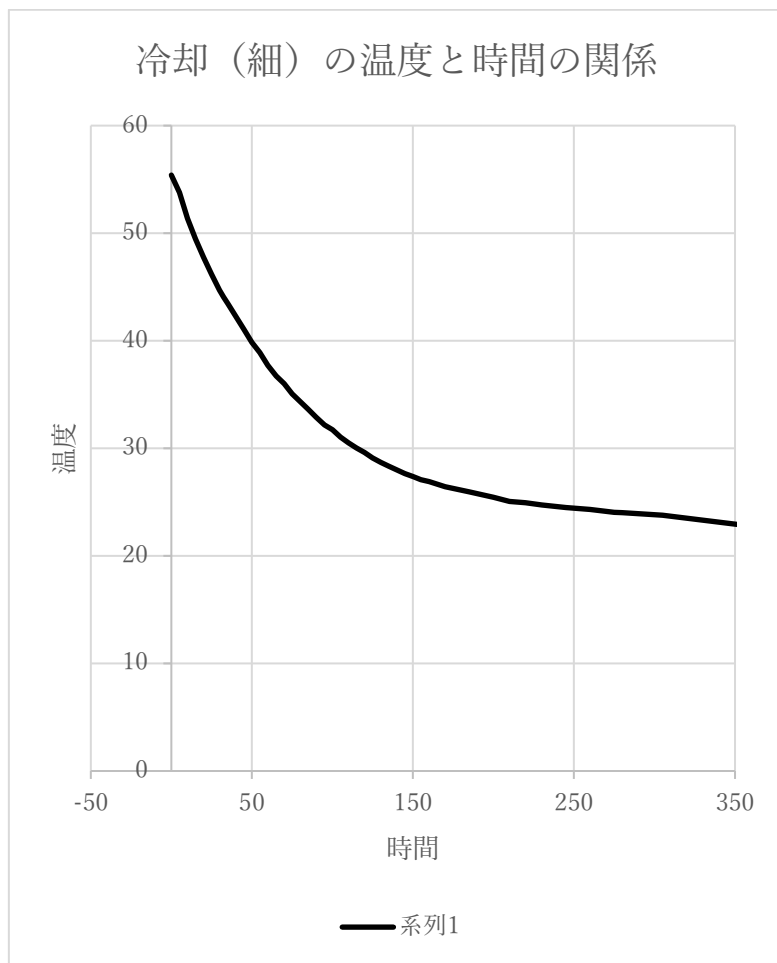


図 4.17 K 型細い熱電対の冷却時の温度と時間の関係

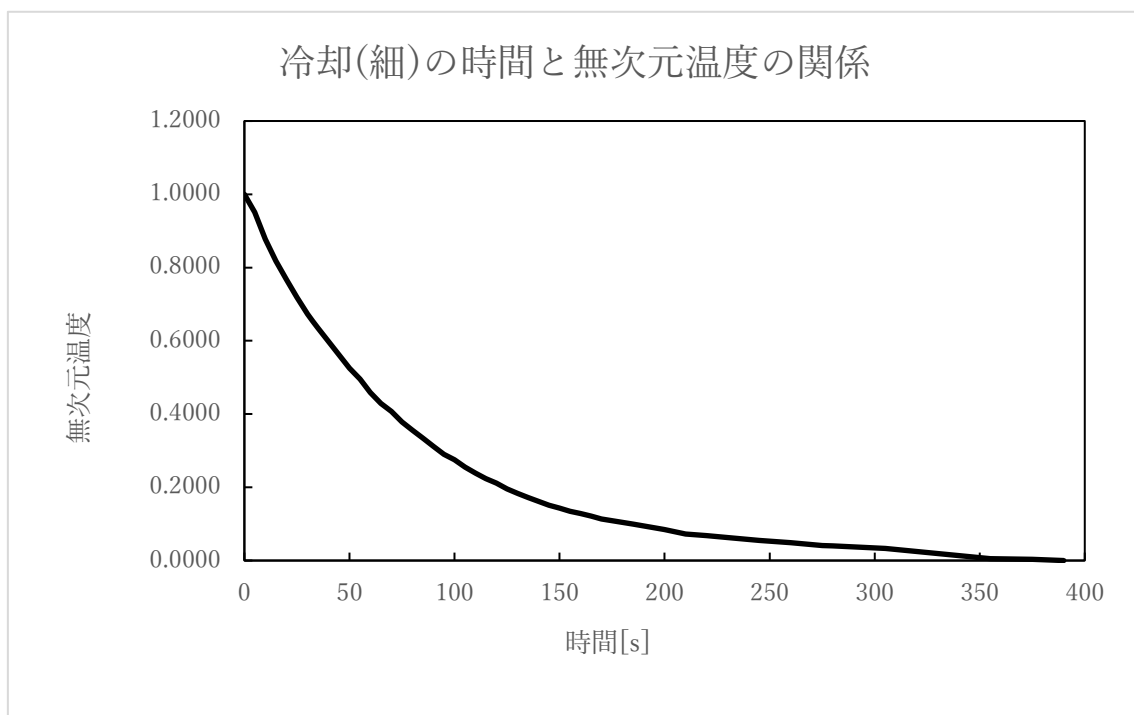


図 4.18 K 型細い熱電対の冷却時の時間と無次元温度の関係

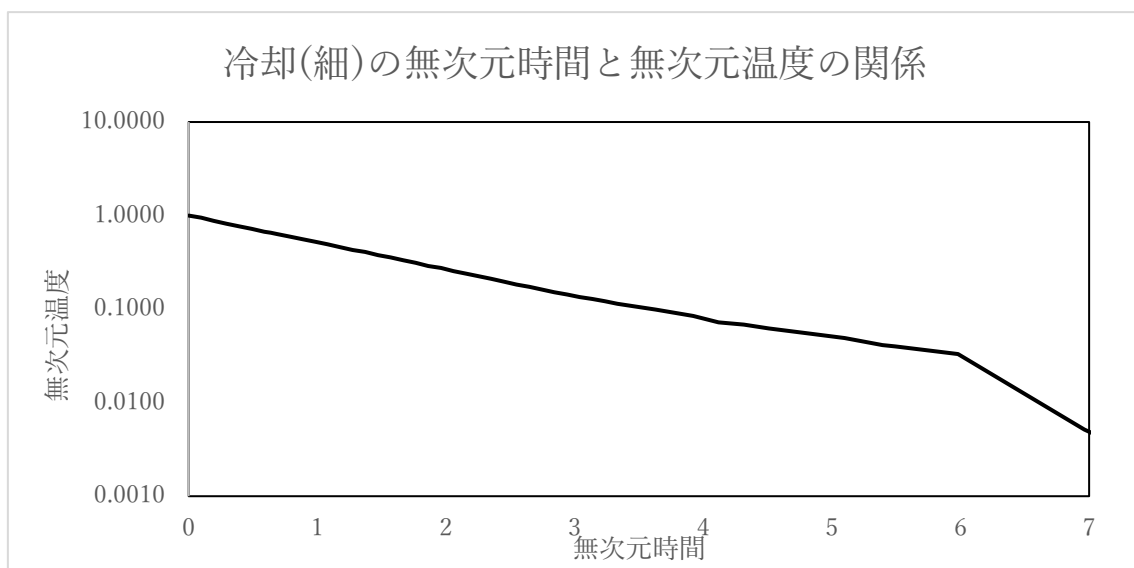


図 4.19 K 型細い熱電対の冷却時の無次元温度と無次元時間の関係

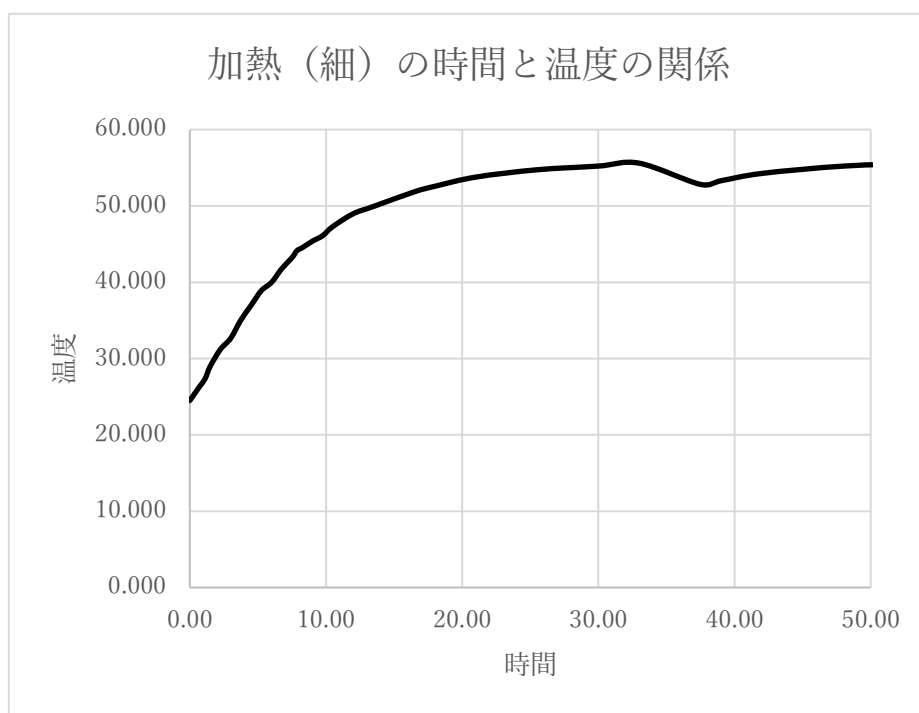


図 4.20 K 型細い熱電対の加熱時の温度と時間の関係

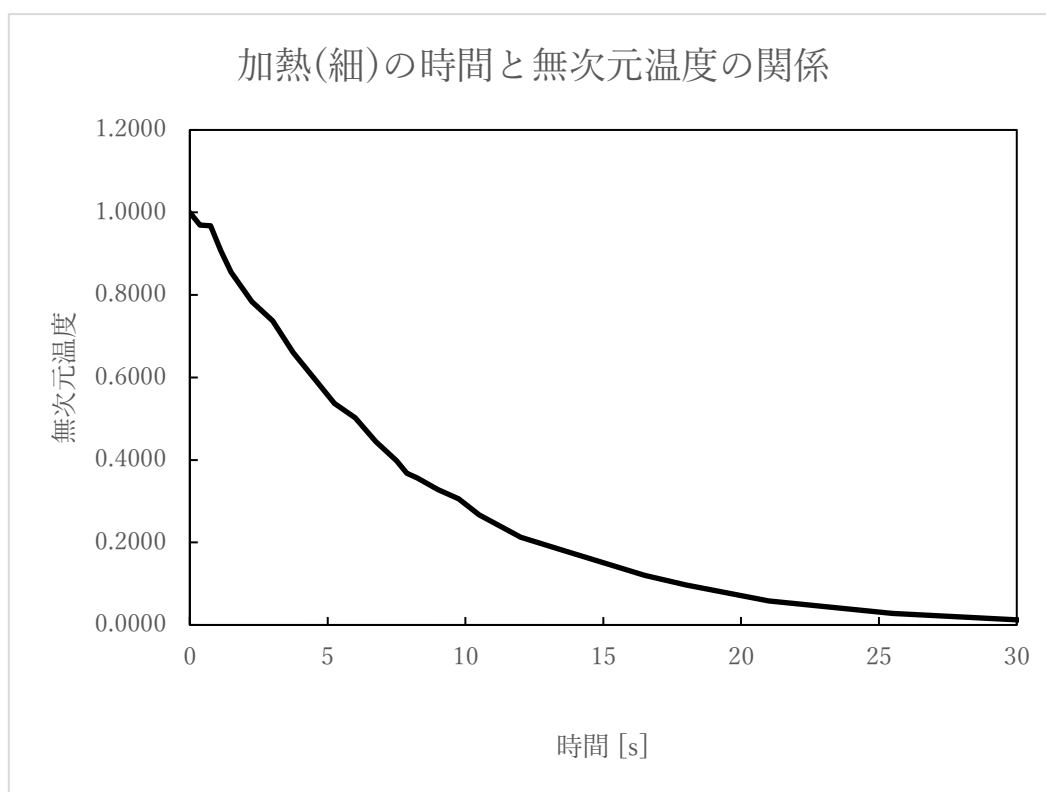


図 4.20 K 型細い熱電対の加熱時の無次元温度と時間の関係

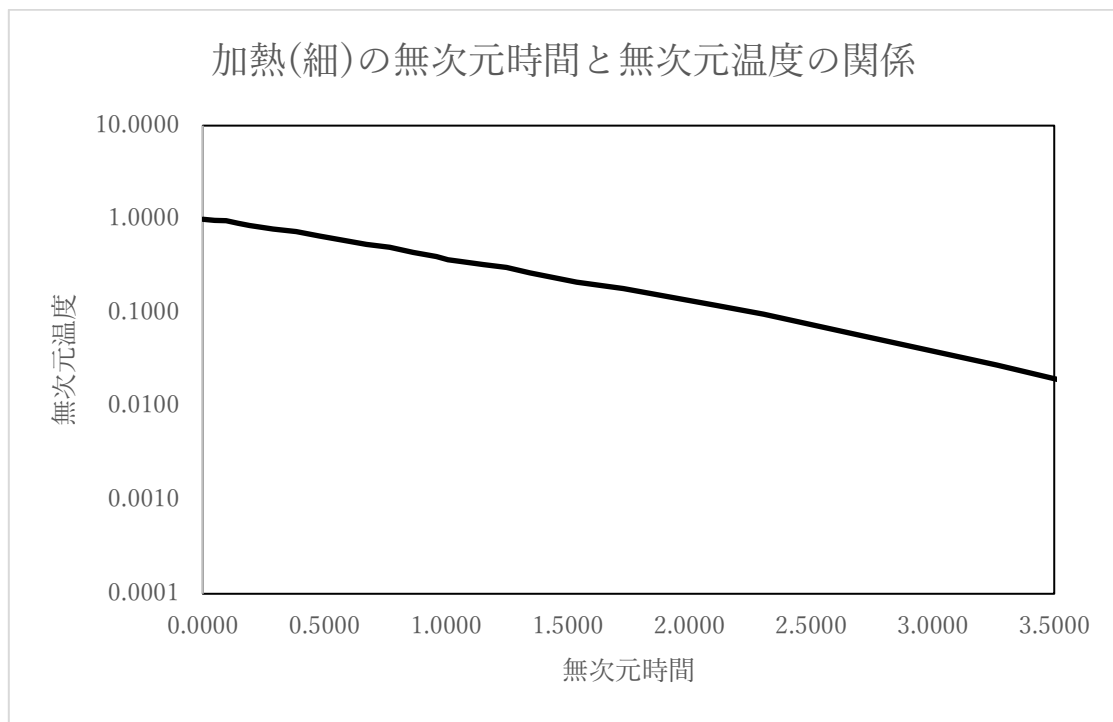


図 4.21 K 型細い熱電対の加熱時の無次元温度と無次元時間の関係

K 型熱電対の各時定数

	時定数
熱電対 K 型(太)加熱	18.3
熱電対 K 型(太)冷却	49.5
熱電対 K 型(細)加熱	7.81
熱電対 K 型(細)冷却	30.6

図 4.22 K 型熱電対の各時定数

4.3 実験 3

表 4.10 実験 3 における気象条件

--

天気 晴れ

大気温度[°C] 24.6

湿度[%] 41

気圧[mmHg] 763.8

表 4.

表 4.11 湯温とペンレコーダの詳細

ペンレコーダ送り速度	2
[cm/min]	
ペンレコーダレンジ	0.1
[mV/cm]	

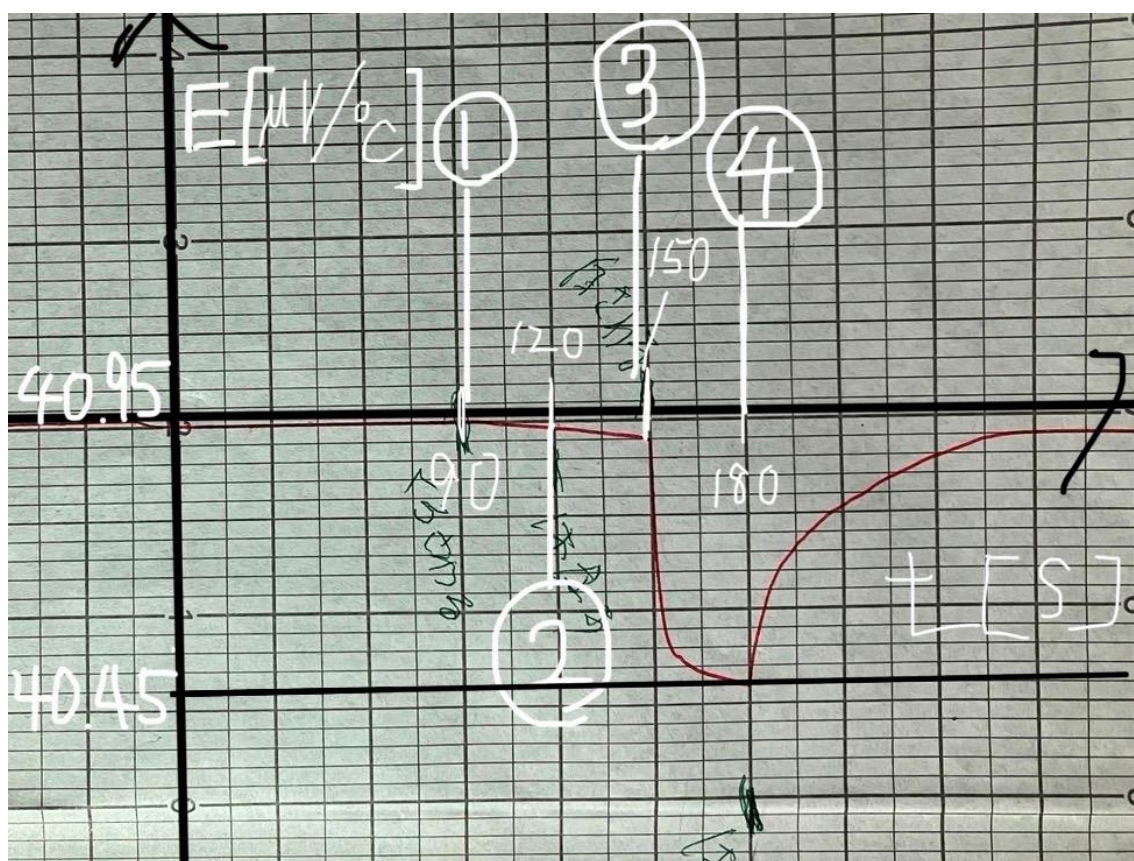


図 4.3-1 熱起電力と時間の関係

補足：①黒をつまむ

②黒を離す

③白つまむ

④白を離す

5. 考察

5.1 実験1

型	K	T	E	J
$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$	0/40.95	0/42.72	0/63.2	0/52.7

表 5.1

実験結果1の ΔE と表5.1より相対誤差を比較する.

$$\text{Kの相対誤差} = \left| \frac{41.4 - 40.95}{40.95} \right| = 0.010989 \approx 1.1\%$$

$$\text{Tの相対誤差} = \left| \frac{41.4 - 42.72}{42.72} \right| = 0.03089 \approx 3.1\%$$

$$\text{Eの相対誤差} = \left| \frac{41.4 - 63.2}{63.2} \right| = 0.3449367 \approx 34.5\%$$

$$\text{Jの相対誤差} = \left| \frac{41.4 - 52.7}{52.7} \right| = 0.214421 \approx 21.4\%$$

同様に熱電対(黄)の相対誤差も比較する.

$$\text{Kの相対誤差} = \left| \frac{54.0 - 40.95}{40.95} \right| = 0.31868 \approx 31.9\%$$

$$\text{Tの相対誤差} = \left| \frac{54.0 - 42.72}{42.72} \right| = 0.26404494 \approx 26.4\%$$

$$\text{Eの相対誤差} = \left| \frac{54.0 - 63.2}{63.2} \right| = 0.1455696 \approx 14.6\%$$

$$\text{Jの相対誤差} = \left| \frac{54.0 - 52.7}{52.7} \right| = 0.02466 \approx 2.47\%$$

以上の相対誤差から,熱電対(青)はK型であると考えられ,また,熱電対(黄)はJ型であると考えられる.今回の実験で生じたとされる誤差要因は,熱電対の挿入深度による誤差であると考えられる.

5.2 実験

熱伝達率とは、固体内部での熱の伝わりやすさを表している。熱伝達率とは固体から流体間の熱の伝わりやすさを表す値であり、小さければ小さいほど伝わりにくい。熱伝導率と熱伝達率の関係は反比例である。それは、熱伝導率は単位長さ当たりの絶対温度で 1K の温度降下を生じてるとき、面積あたりに毎秒流れる熱量を表す。また、熱伝達率は単位長さ当たりではないので、性質上温度が下がりきるまでの範囲を概念的にとらえているからである。以上のことから熱伝達率は、分母にメートルが残るので、熱伝導率とは反比例の関係にあると考えられる。

サーモボックスに熱電対(太)挿入した体積を V とする。

$$V = \left(\frac{6.37 \times 10^{-3}}{2}\right)^2 \times \pi \times 114.03 \times 10^{-3} [m^3] = 3.63 \times 10^{-6} [m^3]$$

熱電対(細)を挿入したときの体積を v とする。

$$v = \left(\frac{4.67 \times 10^{-3}}{2}\right)^2 \times \pi \times 11.48 \times 10^{-3} [m^3] = 1.91 \times 10^{-6} [m^3]$$

となる。 V, v より、熱容量 $C [J/K]$ は密度 ρ ,比熱 c を用いて表すと

$$C = \rho c V [J/K]$$

となり、

$$C = 3.63 \times 10^{-6} \times \rho \times c [J/K]$$

となる。同様に v も求める。

$$C = 1.91 \times 10^{-6} \times \rho \times c [J/K]$$

となる。水と空気の熱伝導率は、水:0.610(W/(m・K)) 空気:0.026(W/(m・K))である。

5.2 実験3

一般的に熱起電力が働いているため常に電流が流れる。均質回路の法則より、黒のテープを触ったとしても電流は通常は流れない。しかし今回の実験で、電流が少し流れてしまったのは、つまむ人の体温が影響したのだと考えられる。中間金属の法則より、回路全体の温度が等しければ、電流は流れない。今回白のテープを触れたことにより、温度差が生じ電流が流れた。物体を近づけなければ、温度差が生じないため回路全体の温度が均一となる。

6. 結論

熱電対温度計,水銀温度計を用いて,温度の動特性と静特性を理解することができた.2 種類の金属導体で閉回路を作り,片方を加熱及び冷却するといった方法で温度差を与え回路に電流が流れるゼーベック効果を使い,それによって発生する熱起電力を測定し,熱電対温度計について理科ができた.

この実験を終えて,熱電対温度計を使用する際の注意点を三法則などから深く理解できた.

参考文献

- [1]日本機械学会,機械工学辞典, [零位法](#) [[JSME Mechanical Engineering Dictionary](#)],2017/7/19,2023/05/01
- [2]林電工株式会社, [熱電対の原理・種類・特徴について | 林電工株式会社オフィシャルサイト \(hayashidenko.co.jp\)](#),公開年月不明,2023/04/29
- [3]国立研究開発法人, 温度はどうすれば正しく測れるか, [pdf \(jst.go.jp\)](#),1977年,2023/04/30
- [4]電気情報通信基礎,4 編, [12gun_04hen_05.pdf \(ieice-hbkb.org\)](#),2015/06,2023/04/29
- [5]JSME テキストシリーズ;伝熱工学(日本機械学会)
- [6]庄司正弘;伝熱工学(東京大学出版会)
- [7]日本大学理工学部航空宇宙工学科航空宇宙工学実験 I p101,p104

課題

1)

実験 1 は抵抗を 1Ω 単位で調整できる. そのため, 標準抵抗器にかかる電圧と起電力を等しくすることにより, オームの法則から熱起電力に流れる電流と同じ大きさになる. よって, 零位法を用いて計測することができるため精度が良い.

2)

魔法瓶は真空であるため,外気との熱交換を行うことを防止できる.

3)

式 (5) $k = \rho c V / h A$ より,

$$\theta = e^{-\frac{t}{k}} \quad (6)$$

となり, 定常値 1 より $a(t)$ を時間の関数 t で表すと,

$$a(t) = 1 - e^{-\frac{t}{k}} \quad (7)$$

よって $t=0$ の傾きは,

$$\begin{aligned} a'(t) &= \frac{1}{k} e^{-\frac{t}{k}} \\ a'(0) &= \frac{1}{k} \end{aligned} \quad (8)$$

となる. (7) より $t=k$ なので, $a(k) \doteq 0.632$ となる.

4)

補償線は熱電対とほぼ同一の熱起電力特性を持つ金属を使用した導線である. また, コスト面で熱電対を短くしたい時などに用いられる.

5)

電気式温度計: この温度計は, 電気の流れやすさ, 流れにくさをサーミスタで電気抵抗を計測し, その抵抗値から間接的に温度を測るというもの. 注意することは, 電流の抵抗の大きい場所にいと正確な制度が出ないということ.