

チャレンジ番号	氏 名

課題 1 - 1 - 1

点

試料	抵抗値あるいは「測定不能」
銅棒	測定不能 または 安定した値が出ない
真鍮棒	測定不能 または 安定した値が出ない
アルミニウム棒	測定不能 または 安定した値が出ない

測定に際し、特に工夫した点：

接点を安定にするための工夫、クリップつきコードを使ってつなぐ など

チャレンジ番号	氏 名

課題 1 - 1 - 2 (1)

点

組み立て図

注意点：結線に間違いがないか。

図の判断に必要な情報が記載されているか

特に注意した点

注意点：記載された点の実験的に意味があるか

チャレンジ番号	氏 名

課題 1 - 1 - 2 (2)

点

銅に関する測定値

電流 \ 間隔	5 cm	10 cm	15 cm	25 cm	30 cm
0.5 A	0.0mV	0.2mV	0.3mV	0.6mV	0.7mV
1.0 A	0.2mV	0.5mV	0.7mV	1.3mV	1.6mV
1.5 A	0.3mV	0.7mV	1.2mV	2.1mV	2.5mV

真鍮に関する測定値

電流 \ 間隔	5 cm	10 cm	15 cm	25 cm	30 cm
0.5 A	0.5mV	1.1mV	1.7mV	2.9mV	3.6mV
1.0 A	1.1mV	2.3 mV	3.5 mV	5.9 mV	7.2 mV
1.5 A	1.7 mV	3.5 mV	5.3 mV	9.0 mV	10.8 mV

アルミニウムに関する測定値

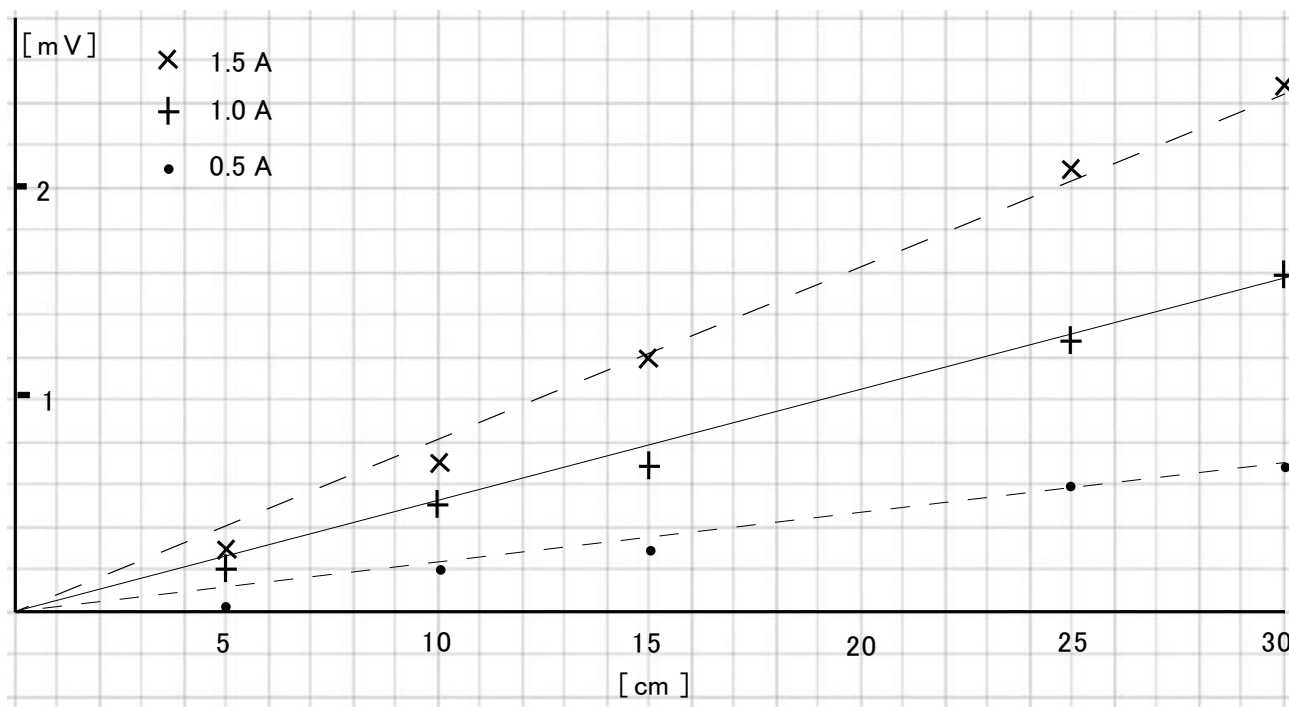
電流 \ 間隔	5 cm	10 cm	15 cm	25 cm	30 cm
0.5 A	0.1 mV	0.2 mV	0.4 mV	0.8 mV	0.9 mV
1.0 A	0.2 mV	0.6 mV	0.9 mV	1.7 mV	2.0 mV
1.5 A	0.4 mV	0.9 mV	1.4 mV	2.5 mV	3.0 mV

チャレンジ番号	氏 名

課題 1-1-2 (3)

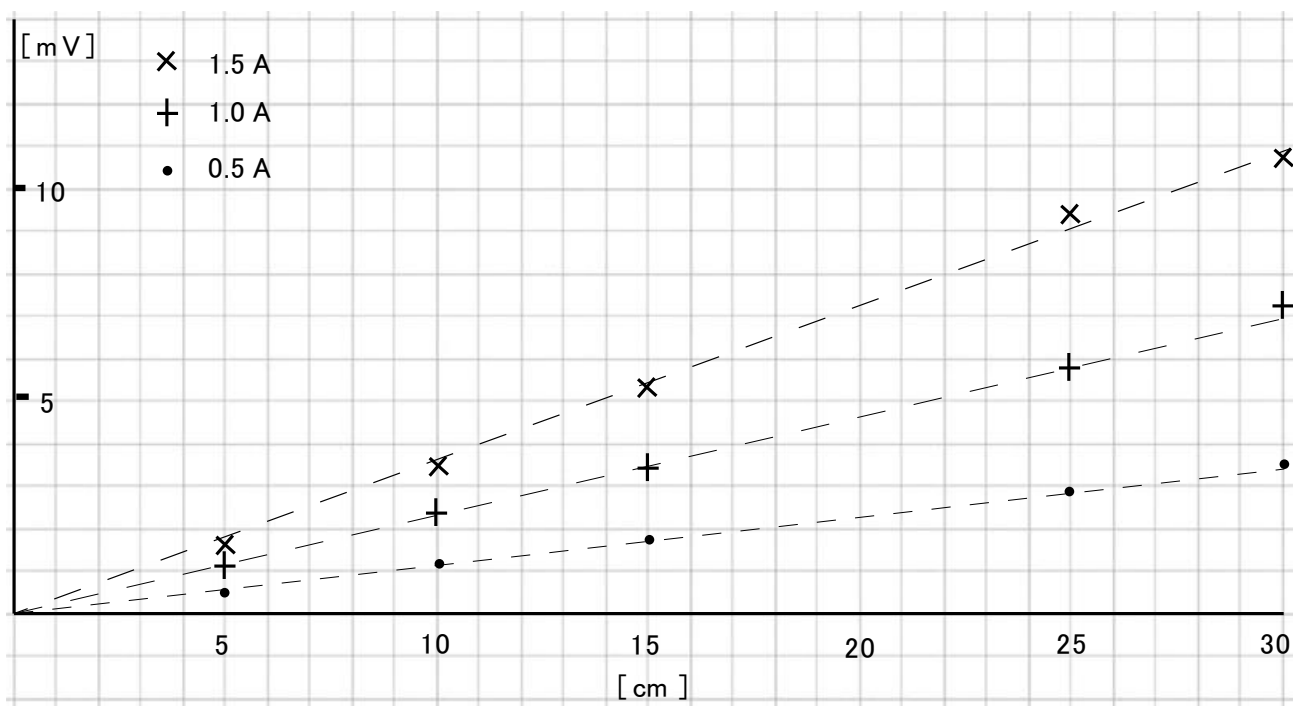
点

銅に関する結果

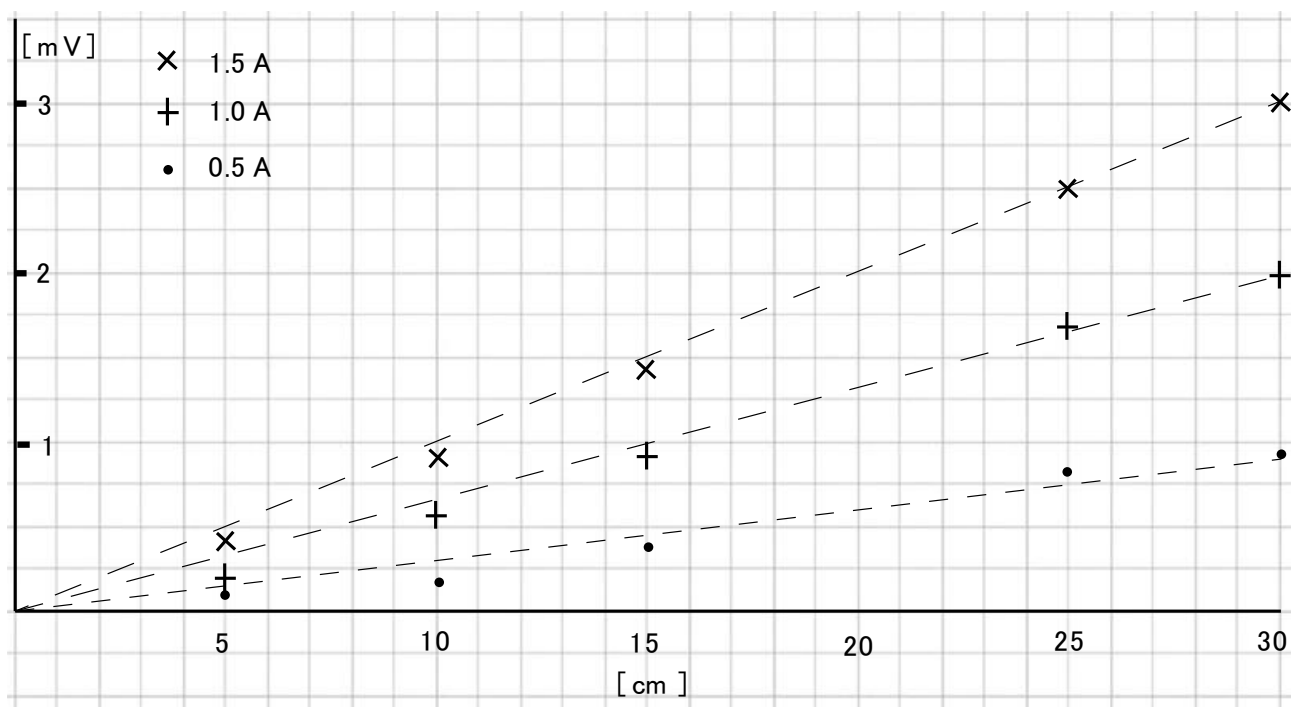


チャレンジ番号	氏 名

真鍮に関する結果



アルミニウムに関する結果



チャレンジ番号	氏 名

課題 1-1-2 (4)

点

銅に関する結果：電気抵抗 = $1.7 \times 10^{-3} \Omega$ 電気伝導度 = $5.6 \times 10^7 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$

計算と説明： $R = 2.5 \text{ mV} / 1.5 \text{ A}$ $\sigma = 1/\rho$ $\rho = R(S/L)$ $S = (0.0010)^2 \pi \text{ m}^2$
 $= L/(RS)$ $L = 0.30 \text{ m}$
 $\rho = 1.8 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$

真鍮に関する結果：電気抵抗 = $7.2 \times 10^{-3} \Omega$ 電気伝導度 = $1.4 \times 10^7 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$

計算と説明： $R = 10.8 \text{ mV} / 1.5 \text{ A}$ $\sigma = 1/\rho$ $\rho = R(S/L)$ $S = (0.0010)^2 \pi \text{ m}^2$
 $= L/(RS)$ $L = 0.30 \text{ m}$
 $\rho = 7.4 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$

アルミニウムに関する結果：電気抵抗 = $2.0 \times 10^{-3} \Omega$ 電気伝導度 = $2.1 \times 10^7 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$

計算と説明： $R = 3.0 \text{ mV} / 1.5 \text{ A}$ $\sigma = 1/\rho$ $\rho = R(S/L)$ $S = (0.0015)^2 \pi \text{ m}^2$
 $= L/(RS)$ $L = 0.30 \text{ m}$
 $\rho = 4.7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$

チャレンジ番号	氏 名

課題 1 - 1 - 2 (5)

点

銅に関する結果

オームの法則はなりたっている 抵抗と電流の逆依存性 長さに直線依存
 問題点：区間長さの短い場合の直線性からのずれ

真鍮に関する結果

オームの法則はなりたっている

アルミニウムに関する結果

オームの法則はなりたっている

チャレンジ番号	氏 名

点

課題 1 - 1 - 3

①測定電流の増加による検出感度の増加

②接触抵抗の影響を排除できる

【解説】

試料の電気抵抗値は、図 1 のように試料に電流を流し、試料に流れる電流と試料両端の電圧を測定することによってオームの法則から計算することができる。デジタルマルチメータの抵抗測定レンジによる測定でも同じ原理である。しかし、今回の場合のように抵抗値が小さい場合には、電圧降下が小さすぎてうまく測定することができない。そこで、電源装置を使って大きな電流を流し、電圧降下を大きくして検出感度をあげることにより、測定が可能になる。

また、試料の電気抵抗値が小さいと、測定端子と試料との間の接触抵抗を無視することができない。図 1 で、試料の抵抗を R 、リード線と試料との接触点 A、B における抵抗を R_A 、 R_B とすると、図 1 は図 2 のように書き直すことができる。結局電圧計では $R_A + R_B + R$ による電圧降下を測定していることになる。

このような接触抵抗の影響を排除しようと考えられたのが、図 3 のような四端子法である。ここで R_C 、 R_D は電圧計のリード線と試料との接触抵抗である。電圧計の内部抵抗は、接触抵抗 R_C 、 R_D よりもはるかに大きいので、接触抵抗による電圧降下は無視することができる。また試料の抵抗が電圧計の内部抵抗よりはるかに小さければ、電圧計に流れる電流は無視することができる。このようにして、試料両端の電圧を正確に測ることができる。一方、 R_A 、 R_B がいくつであっても、試料に流れる電流は電流計で測定することができる。

今回の実験では、接触抵抗が 0.5Ω 程度、試料の抵抗が数 $m\Omega$ 程度なので、四端子法でないと測定できないことがわかる。

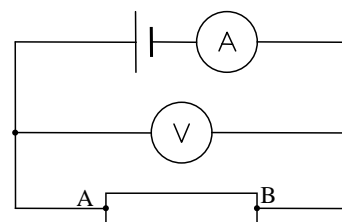


図 1

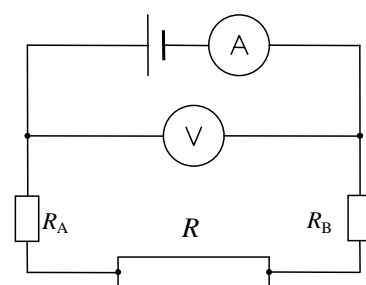


図 2

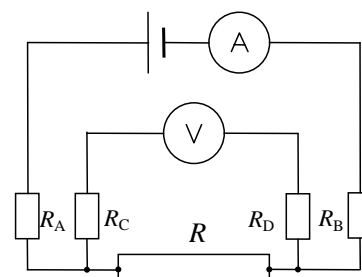


図 3

チャレンジ番号	氏 名

課題 1-2-1 (1)

(最終的に T_1 がほぼ室温になったデータのみ記載)

点

銅に関する結果 室温 $T_0 =$

	電圧 V	電流 I	上部温度 T_1	下部温度 T_2	
1 回目	25.4V	0.14A	30.0°C	2.7°C	
2 回目					
3 回目					
4 回目					

真鍮に関する結果 室温 $T_0 =$

	電圧 V	電流 I	上部温度 T_1	下部温度 T_2	
1 回目	25.4V	0.14A	30.0°C	2.7°C	
2 回目					
3 回目					
4 回目					

アルミニウムに関する結果 室温 $T_0 =$

	電圧 V	電流 I	上部温度 T_1	下部温度 T_2	
1 回目	15.8V	0.10A	30.0°C	3.2°C	
2 回目					
3 回目					
4 回目					

チャレンジ番号	氏 名

課題 1 - 2 - 1 (2)

点

試料材質	銅	真鍮	アルミニウム
熱流 Q (W)	3.5	1.2	1.6
長さ L (m)	0.06	0.06	0.06
断面積 S (m ²)	2.8×10^{-5}	2.8×10^{-5}	2.8×10^{-5}
温度差 ΔT (°C)	27.3	27.3	26.8
K (W/(m · K))	2.8×10^2	0.94×10^2	1.3×10^2
σ (Ω ⁻¹ m ⁻¹)	$5.6 (\times 10^7)$	$1.4 (\times 10^7)$	$2.1 (\times 10^7)$
$K/\sigma (\times 10^5)$	0.50	0.67	0.62

補足説明

チャレンジ番号	氏 名

課題 1 - 2 - 2

点

・ 妥当である理由

熱流測定の高温側温度を室温に設定することにより、発熱体であるハンダごてヒーターから試料へ流れる以外には、外部との放熱および熱流入などによる熱移動が小さくなるから。

・ 成り立たない理由

試料そのものには、室温と氷水温度をつなぐ温度勾配があるため、この部分と外部との熱の移動があるため。この原因は試料周囲の空気対流による熱流入が主であり、熱放射によるものは、この実験の測定温度範囲では無視できる。一方、熱伝導度の大きい試料では、発熱体の温度は高温側温度（室温）より高くなる。この場合の熱損失は、電流導線を介したもの、ヒーター周辺の対流などによるものがある。さらに温度計を介した外部からの熱流入がある。

・ 工夫した点

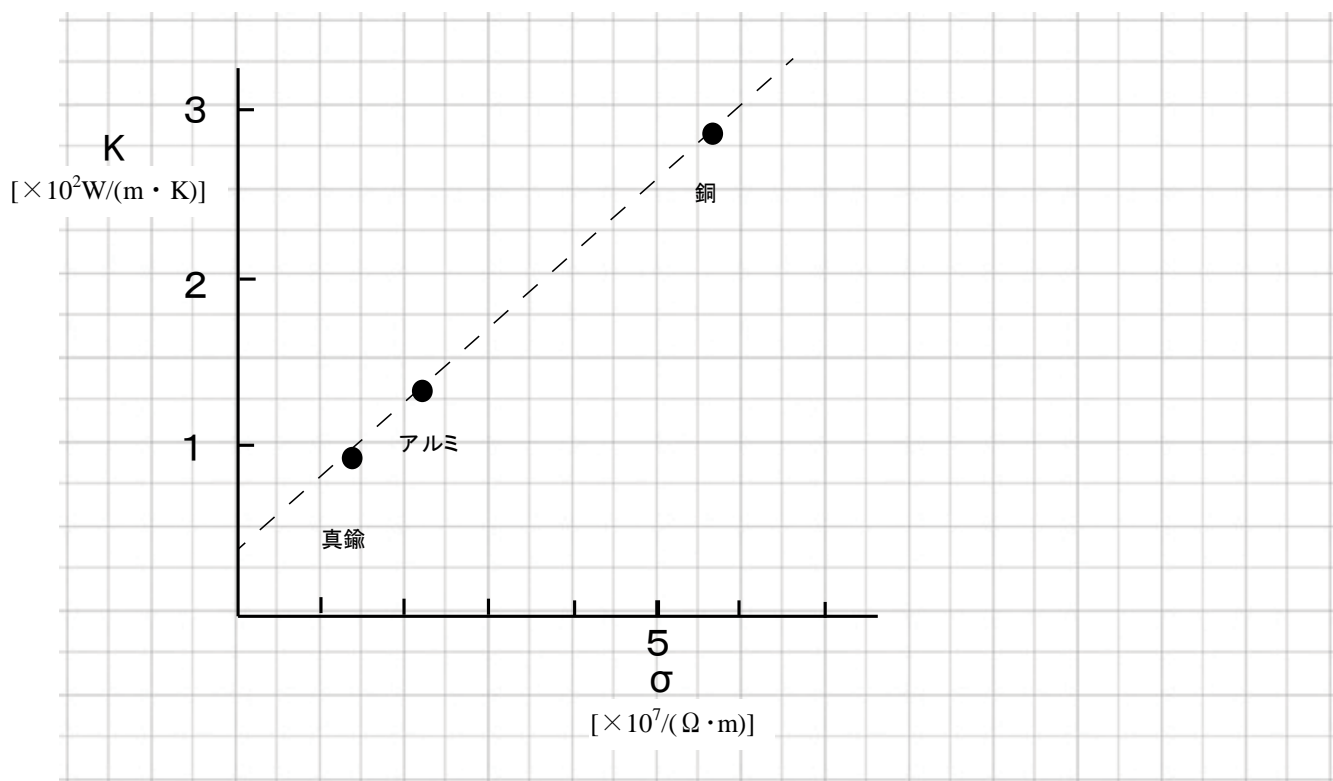
試料温度が室温より低くなることによる外部からの熱流入を防ぐには試料周囲で対流がおきないようにする。試料と接触させないように周囲を断熱材で覆い、定常状態になるまで十分時間をかけ待つなどの工夫が有効。さらに温度計に極細熱電対など、測定器の影響が無視できるものを選ぶとよい。

チャレンジ番号	氏 名

課題 1 - 3 - 1

点

電子による熱移動以外の寄与があることがわかる。(固体の熱伝導)



チャレンジ番号	氏 名

点

課題 2 - 1
(省略)

\	1 回目	2 回目	3 回目
机			
手のひら			
氷			

チャレンジ番号	氏 名

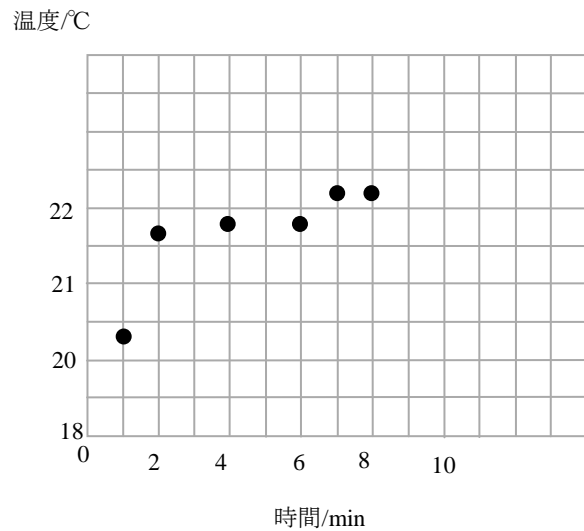
点

課題 2-2 (1)

設定電圧 5.0 V

時間/min	発熱体の温度/°C
1	20.8
2	21.6
4	21.8
6	21.8
7	22.2
8	22.2

発熱体の温度変化



発熱体の温度がほぼ一定になったときの

発熱体の温度/°C	電圧/V	電流/A
22.2	5.0	0.15

容器内壁の温度/°C

1 回目	2 回目	3 回目	平均
7.4	0.4	0.4	0.4

チャレンジ番号	氏 名

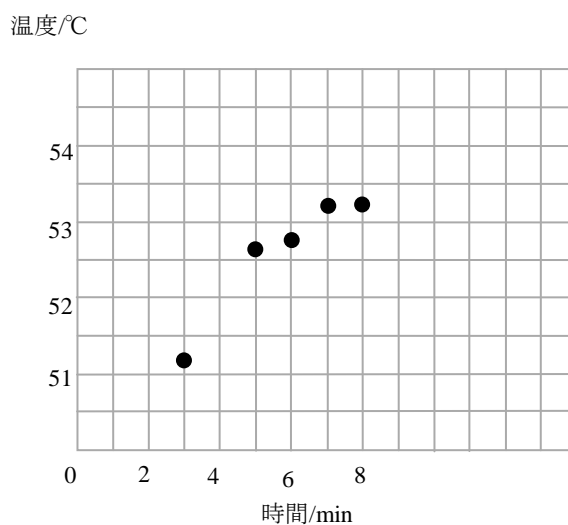
点

課題 2 - 2 (2)

設定電圧 9.0 V

時間/min	発熱体の温度/°C
3	51.2
5	52.6
6	52.8
7	53.2
8	53.2

発熱体の温度変化



発熱体の温度がほぼ一定になったときの

発熱体の温度/°C	電圧/V	電流/A
53.2	9.0	0.26

容器内壁の温度/°C

1 回目	2 回目	3 回目	平均
0.6	1.0	0.8	0.8

チャレンジ番号	氏 名

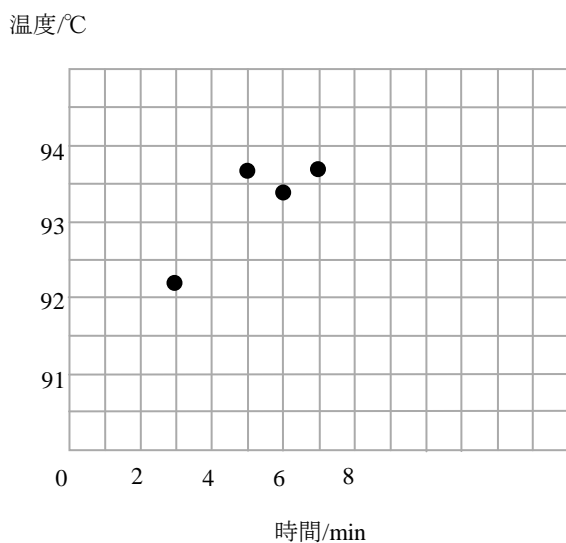
点

課題 2 - 2 (3)

設定電圧 13.0 V

時間/min	発熱体の温度/°C
3	92.2
5	93.6
6	93.4
7	93.6

発熱体の温度変化



発熱体の温度がほぼ一定になったときの

発熱体の温度/°C	電圧/V	電流/A
93.6	13.0	0.38

容器内壁の温度/°C

1 回目	2 回目	3 回目	平均
0.6	0.8	1.0	0.8

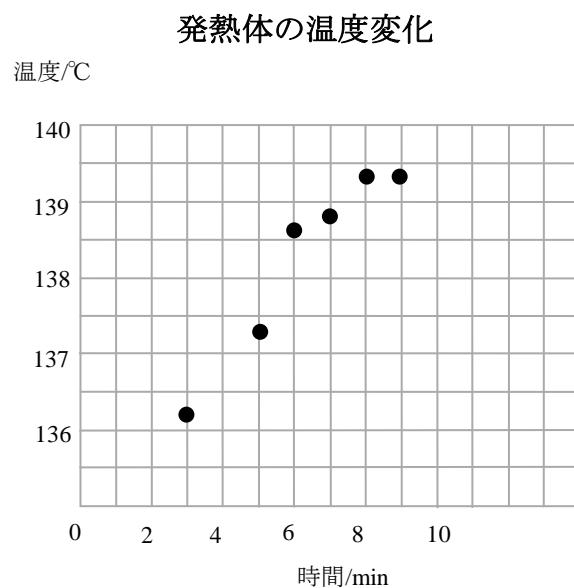
チャレンジ番号	氏 名

点

課題 2 - 2 (4)

設定電圧 17.0 V

時間/min	発熱体の温度/°C
3	136.2
5	137.4
6	138.6
7	138.8
8	139.4
9	139.4



発熱体の温度がほぼ一定になったときの

発熱体の温度/°C	電圧/V	電流/A
139.4	17.0	0.49

容器内壁の温度/°C

1 回目	2 回目	3 回目	平均
1.6	1.4	1.6	1.6

チャレンジ番号	氏 名

点

課題 2 - 3

(1)

発熱体と銅製容器の間には、放射エネルギーのやりとりがある。放射エネルギーが物体の絶対温度の 4 乗に比例するならば、2 物体それぞれの絶対温度の 4 乗の差が、放射によって運ばれる正味のエネルギーに比例することになる。

発熱体から容器に運ばれるエネルギーがほとんど放射によるものと仮定すれば、発熱体に供給される電力が、発熱体から運ばれる正味の（単位時間あたりの）エネルギーになるはずである。

したがって電力と 2 物体それぞれの絶対温度の 4 乗の差が比例するかどうかを調べればよい。

課題 2 - 3

(2)

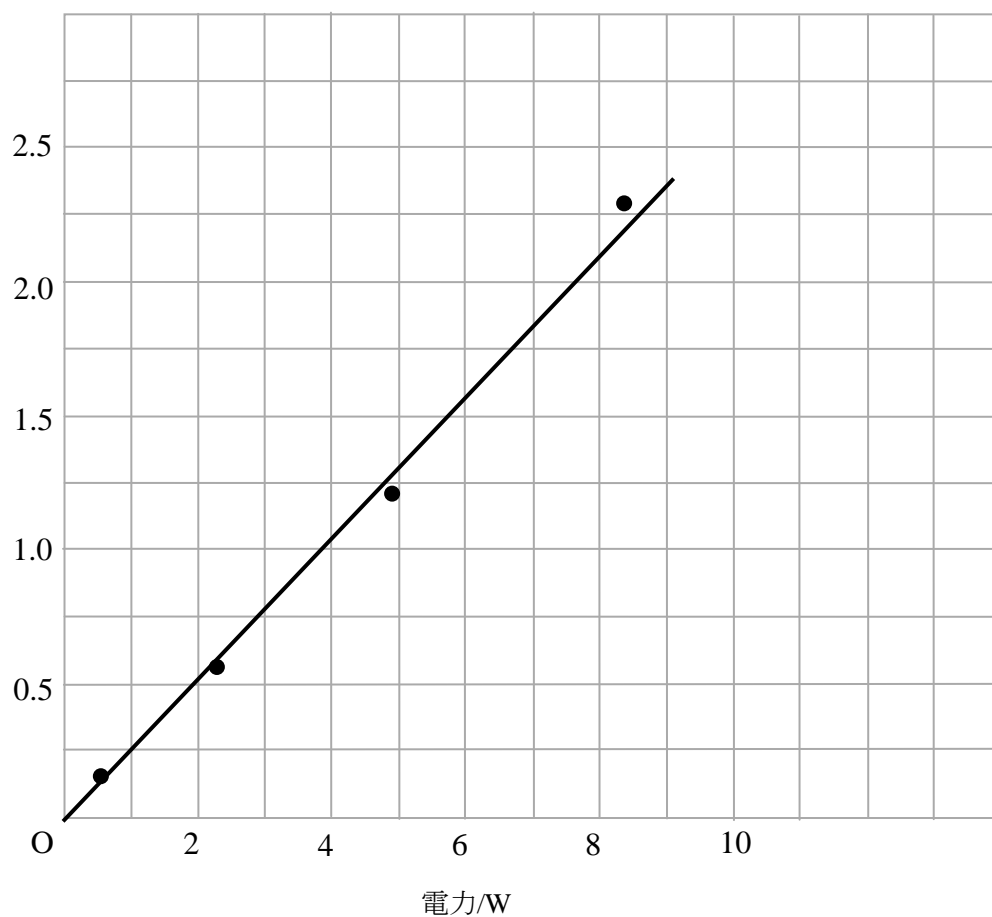
電圧/V	電流/A	電力/W	発熱体温度 /K	容器内壁温度/K	$(T^4 - T_0^4) / 10^{10} \text{K}^4$
5.0	0.15	0.75	295.2	273.4	0.20
9.0	0.26	2.34	326.2	273.8	0.57
13.0	0.38	4.94	366.6	273.8	1.24
17.0	0.49	8.33	412.4	274.6	2.32

チャレンジ番号	氏 名

点

課題 2 - 3
(2)

$$(T^4 - T_0^4) / 10^{10} \text{K}^4$$



考察

チャレンジ番号	氏 名

点

課題 2-4 (ボーナス課題)

課題 2-3 のグラフの傾きは $2.7 \times 10^9 \text{K}^4/\text{W}$ である。一方、シュテファン・ボルツマンの法則より

$$\begin{aligned} \frac{(T^4 - T_0^4)}{P} &= \frac{1}{\sigma S} \\ &= \frac{1}{5.67 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4) \times (35 \times 45 \times 2) \times 10^{-6} \text{m}^2 \times 2.32 \times 10^{10} \text{K}^4} \\ &= 5.6 \times 10^9 \text{K}^4/\text{W} \end{aligned}$$

となる。

したがって、放射によって運ばれたエネルギーは、電力によって供給された電力の約半分と見積もることができる。