

## 【第1チャレンジ実験課題】

単3乾電池1本から取り出せるエネルギーの  
総量を求めよう

### 【要旨】

乾電池4本をつないだ電熱線で精製水200mlを温め、  
上昇した温度(°C) × 精製水200ml × 比熱(1cal/g°C)+4(本)  
で乾電池1本あたりの総熱量を求め、ジュールにも変換してみようとした。  
しかし、実験中電池が熱くなってしまい、乾電池の化学エネルギーがすべて精  
製水を温めるのに使われたわけではなく、一部熱エネルギーとして直接空気  
中に放出されたと考えられる。  
そのため、改良実験として、電池もポリ袋に入れて精製水200mlにつけて、  
その水温の上昇を記録した。同様の式より、電池から放熱された分のエネル  
ギーを計算し、電熱線の方で計算したエネルギー量と合算した結果、  
乾電池1本のエネルギー総量は1320cal(5544J)強であると考えら  
れる。

しかし、今回なるべく回路から熱を回収しようとしたが、完全にエネルギーの  
ロスがなくなったわけではないことと、時間不足により実験データが少なかっ  
たため、もっと回路を工夫し、実験回数を増やして、平均値をとる必要がある  
と感じた。

## 【実験の目的】

乾電池と電熱線で水を温めことによって乾電池のエネルギーを測ることを思いついた。

単3の乾電池の電圧は1.5Vなので、単3電池を4本直列につないで電圧を6Vにし、6V用電熱線で精製水200mlを温め、どのくらい水温が上昇したかによって電池4本のエネルギー総量を求めてから4で割ると乾電池一本当たりのエネルギー量を求めることができた。

実験では、電熱線を2種類使用して、それぞれ最高でどこまで水温が上がるか測定することにした。

## 【実験方法】

### <実験器具>

乾電池 各実験につき4本ずつ

電熱線 2種

6V-9W(4Ω)

6V-18W(2Ω)

温度計 2本

保温マグ

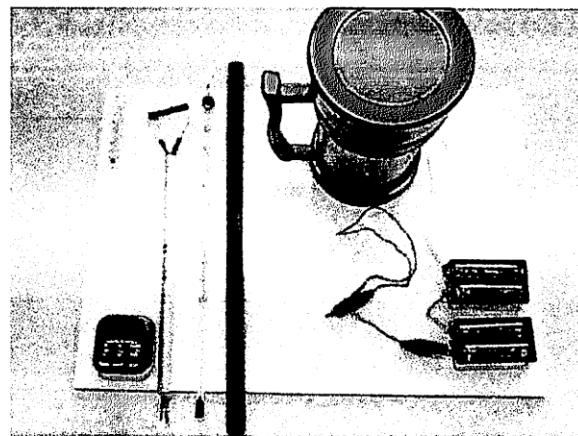
タイマー

乾電池ケース＆スイッチ

発砲スチロール厚紙(蓋として、穴を2つあけておく)

メスシリンダー

精製水



実験器具

### <実験手順>

- 1)写真のようにセッティングしておく。  
(この時、電熱線と温度計はマグの内壁に、  
または、お互いに当たらないように、水の  
真ん中ぐらいに来るよう固定しておく。)
- 2)保温マグの中に精製水をメスシリンダーで  
200ml測って入れる。
- 3)水温と室温が同じになるまで待ち、同じになれば、その時の室温と水温を記録しておく。
- 4)スイッチを入れ、時々水をかき混ぜながら、  
5分ごとに水温を記録する。
- 5)それ以上水温が上がらなくなるまで続ける。
- 6)電熱線の種類を変えて、同じように実験をし、  
記録する。



回路

### (実験上の注意点)

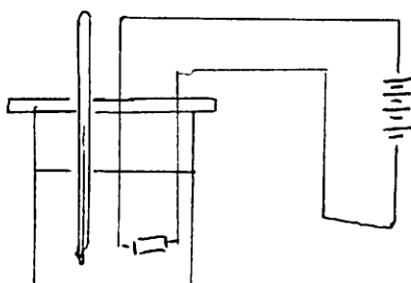
- ※ 乾電池には数種類あるが、今回は、一番よく使われ、しかも最後まで電圧が保たれると言われる、アルカリ乾電池で実験した。
- ※自己放電されているとデータが不正確なため、新品の乾電池を用意した。
- ※百円ショップの電池では容量が均一かどうか心配だったため、信頼のおけるパナソニックのアルカリ電池を使用した。
- ※水の比熱は  $1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$  であるが、不純物が入るとこの比熱が変わるため、精製水を使用した。
- ※少しでも精製水から熱が逃げないようにするために、魔法瓶構造の保温マグを使用し、発砲スチロールを挟んだ厚紙に電熱線と温度計を通すための穴を開けたものを蓋とした。
- ※水量はしっかり電熱線がつかるように200mlとした。

### 【予想】

一番ワットが大きい  $18\text{ W}$  の電熱線が一番早く一番高く温度が上昇すると思う。

保温マグを使用していても、温度上昇が遅ければ、それだけ水から熱が逃げ、水温が上昇しにくく、水温から乾電池のエネルギー容量を計算するときに値が小さくなると思った。

それぞれの結果から乾電池のエネルギー総量を計算し、一番容量が大きいものが実際のエネルギー総量に一番値が近いということになるだろう。



回路



使用した電熱線

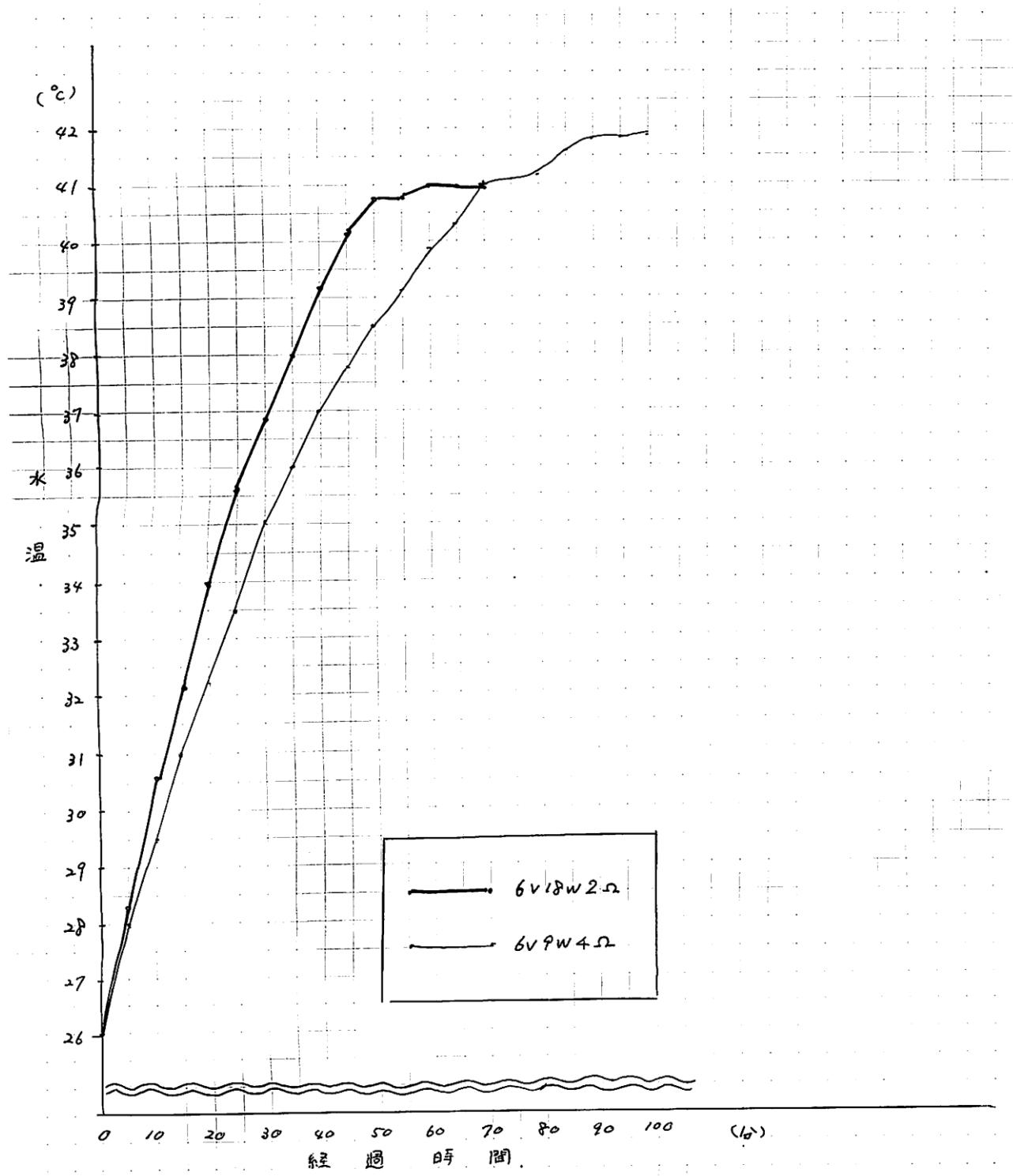
【実験結果】

経過時間(分)	水温(°C)	
	6V18W2Ω	6V9W4Ω
0	26	26
5	28.3	28
10	30.6	29.5
15	32.2	31
20	34	32.2
25	35.6	33.5
30	36.9	35
35	38	36
40	39.2	37
45	40.2	37.8
50	40.8	38.5
55	40.8	39.2
60	41	39.9
65	41	40.4
70	41	41
75		41.1
80		41.2
85		41.6
90		41.8
95		41.8

水温上昇度

+15°C

+15. 8°C



## 【結果】

電熱線 2 種類で水温の上昇を見た結果、

6 v 18 w 2Ω の電熱線では +15°C

6 v 9 w 4Ω の電熱線では +15.8°C

であった。

水量は 200 ml、比熱は 1 cal/g°C であるため、全く熱のロスがないと考えた場合、精製水を熱するのに使われたエネルギーの総量は

18w の電熱線… $15°C \times 200\text{ g} \times 1\text{ cal/g°C} = 3000\text{ cal} = 12600\text{ J}$

9w の電熱線… $15.8°C \times 200\text{ g} \times 1\text{ cal/g°C} = 3160\text{ cal} = 13272\text{ J}$

となる。

乾電池 4 本ずつ利用したため、単純に 4 本で割った場合、1 本当たりのエネルギー総量は

18w の電熱線を使用した場合 750cal=3150J

9w の電熱線では 790cal=3318J

となるはずだ。

しかし、実験中、乾電池自体もかなり発熱しており、乾電池の化学エネルギーがすべて精製水を温めるのに使われたわけではない。

そこで、改良実験として、今度は乾電池も精製水につけて、同様に水温の上昇を見ることにした。

ただし、乾電池は水に濡れないようにポリ袋に密封してから水につけた。

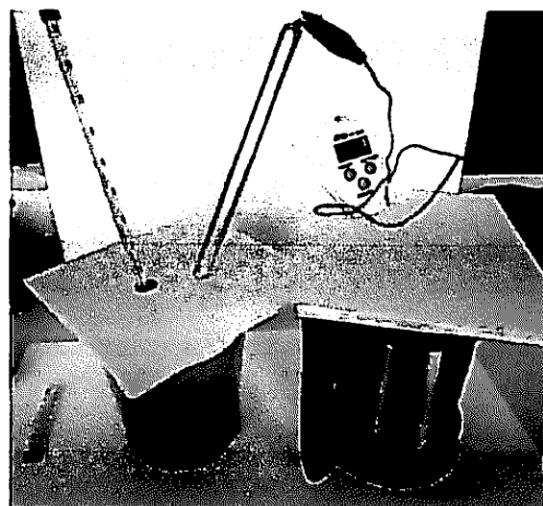
## 【改良実験】

### <追加した実験器具>

温度計 1本  
保温マグ 1個  
ポリ袋  
蓋用の発砲スチロール厚紙

### <実験手順>

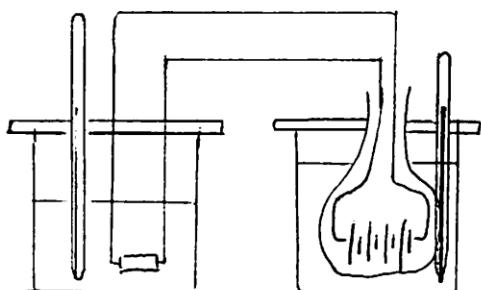
- 1、写真のようにセッティングしておく。
- 2、それぞれの保温マグの中に精製水をメスシリンダーで200ml測って入れる。
- 3、水温と室温が同じになるまで待ち、同じになれば記録をしておく。
- 4、スイッチをいれ、時々水をかき混ぜながら、5分ごとに両方の水温を記録する。
- 5、それ以上水温が上がらなくなるまで続ける。
- 6、電熱線の種類を変え、同様に実験を続ける。



### 実験上の注意点)

※電池と電池ケースはなるべくコンパクトにまとめてからポリ袋に入れ、なるべく空気が入らないようにしてから口をワイヤーで閉じた。

保温マグの中では、精製水200mlに全体がしっかりとつかるようにし、発砲スチロール厚紙で蓋をした。



回路

## 【改良実験結果】

経過時間 (分)	水温(°C)			
	6V18W2Ω		6V9W4Ω	
	電熱線	電池	電熱線	電池
0	27	27	26	26
5	30	27.3	28.8	26.2
10	33	28.1	31.2	26.4
15	34.1	29.3	32	26.8
20	35.6	30.3	33.2	27.3
25	36.8	31.2	35	27.8
30	38	32.2	36	28.4
35	39	33.4	37.1	28.8
40	39.5	34.3	38	29.3
45	39.5	35.3	38.8	29.8
50	39.8	35.9	39.5	30.3
55	39.8	36.3	40.2	30.9
60		36.7	41	31.2
65		37	41.2	31.7
70		37.2	41.7	32.2
75		37.4	42	33.1
80		37.7	42	33.6
85		37.9	42	34.1
90		38.1	42	34.2
95		38.3	41	34.4
100		38.3		34.6
105				34.8
110				35
115				35.2
120				35.4
125				35.6
130				35.8
135				35.8
⋮				35.8
150				36.3
⋮				36.3
180				36.4

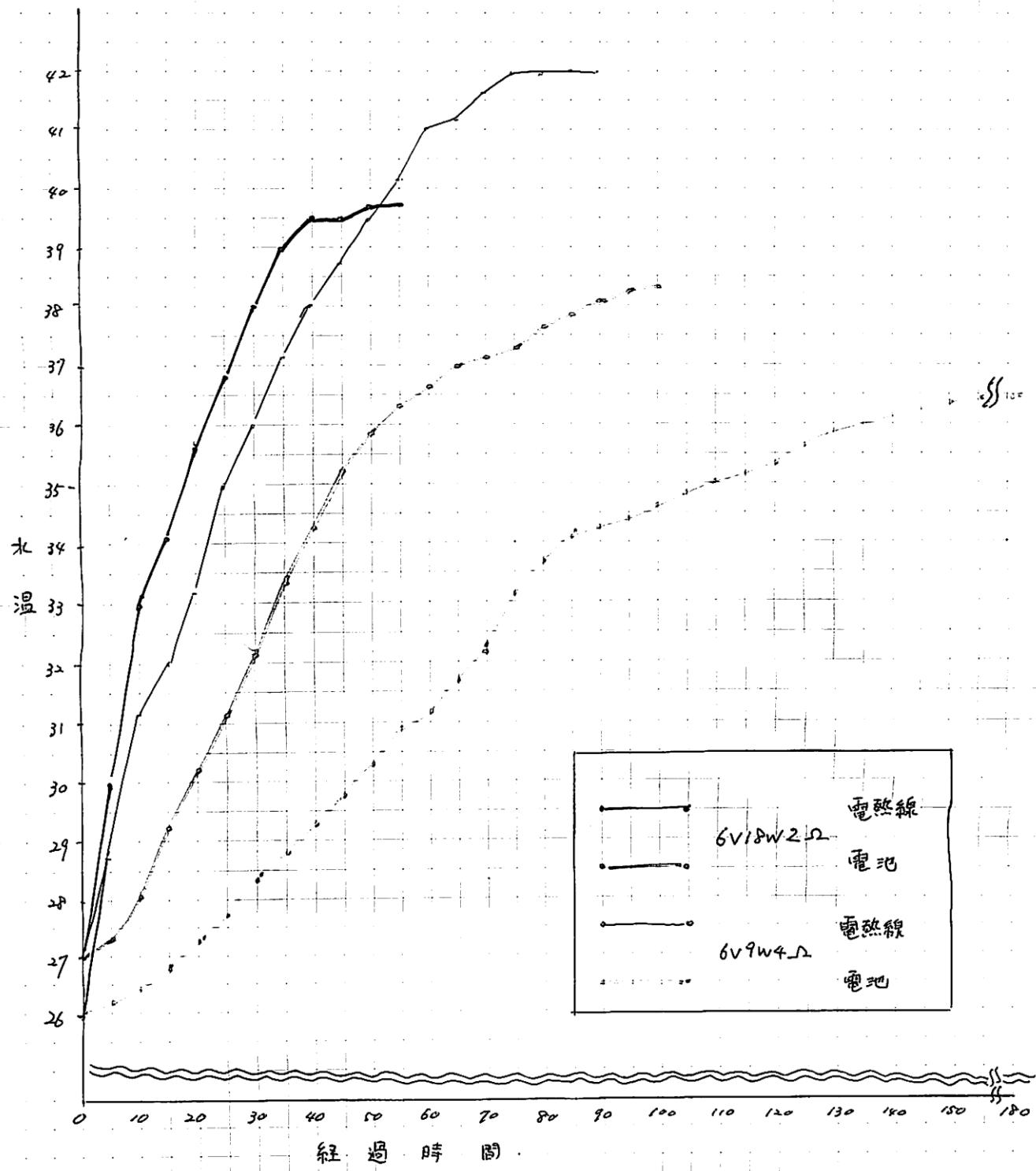
水温上昇度

+12. 8°C

+11. 3°C

+16°C

+10. 4°C



### 【改良実験結果】

改良実験の結果、初めの実験同様、18wの電熱線の方が温度上昇が早かった。

6v18w2Ωの電熱線では、50分ほどでそれ以上水温が上がらなくなり、最高+12.8℃の上昇であったが、電池を付けた方の水温は50分を越えても上昇し続け、85分後に最高38.3℃(+11.3℃)まで達した。

一方、6v9w4Ωの電熱線でも、やはり最初の実験と同じ90分後に水温上昇がとまり、+16℃の上昇であった。電池をつけた方の水温は180分後で最高水温36.4℃(+10.4℃)に達した。

	電熱線	電池
6v18w2Ω	+12.8℃	+11.3℃
6v9w4Ω	+16℃	+10.4℃

改良実験のデータで計算すると

18wの電熱線では

$$(11.8 \times 200 + 11.3 \times 200) \div 4 = 1205 \text{ cal} = 5061 \text{ J}$$

9wの電熱線では

$$(16 \times 200 + 10.4 \times 200) \div 4 = 1320 \text{ cal} = 5544 \text{ J}$$

となった。

## 【考察】

「単3乾電池1本から取り出せるエネルギーの総量を求めよう」という課題において、乾電池からどのくらいカロリーを引き出せるかを考えてみた。

電熱線を使用して水を温め、その水温上昇から水を温めるのに使われたカロリーを計算できると考えたが、実際は電熱線のみでなく、乾電池自体も発熱していた。

電熱線の方は、乾電池の化学エネルギー → 電気エネルギー → 热エネルギー  $t$  と変換されたものであるが、乾電池自体の発熱は乾電池の化学エネルギーが直接熱エネルギーに変換され、空气中に放出されたものである。エネルギー総量を考えたとき、こちらも含めなければならない。

本来ならば回路からのエネルギーロスをすべて回収するためには回路全体を水につければならないが、回路全体を入れられるような保温容器がなかったことと、水量が増えると誤差が大きくなるため、断念した。そこで、改良実験として、電熱線のみでなく、電池も水につけて（水に直接触れないようにポリ袋に入れた）なるべく回路から発生した熱を回収できるようにした。

### ・電熱線の違いによる温度上昇の違いに関する考察

実験1でも改良実験でも18Wの電熱線は9Wに電熱線より温度上昇が早かったものの、より低い温度で反応が終了したので、電熱線によって最高温度が異なるのは誤差ではなく、電池の中の化学反応が激しい劣化が早かったのか、放熱が大きい分カイロからの熱のロスが多かったのかなどの原因が考えられる。

実際、電池の方の水温上昇を比べると、逆に18Wの方が9Wより大きかったため、電池内部の化学反応が激しい分、直接熱エネルギーとして電池から放熱され、電池エネルギーに変換される分が減ったと考えるのが妥当であろう。

改良実験のデータを使用して計算してトータルで比べると、

18Wの電熱線の回路で使用した乾電池1個当たりのエネルギー総量は1205cal(5061J)

9Wの方では1320cal(5544J)であった。

この違いは電池による違いなのか、実験誤差なのか、抵抗の違いによる回路からの熱ロスの違いなのかは、もっと厳密に、もっと違う種類の抵抗を使用して、そしてもっとたくさん実験をしてみないとわからない。

### ・発熱時間に関する考察

製品規格を調べると単3アルカリ乾電池は室温約20°C、100mA未満で、定電流連続放電で使用した場合、容量は約2000~2700mAhであるとあった。

今回に実験において実験1でも改良実験でも18Wの電熱線では約50分で、9Wの方は約90分ほどで水温の上昇がとまった。

6V18Wの回路には3000mAの電流が流れる計算なので、

$$3000 \text{ (mA)} \times 50/60 \text{ (hr)} = 2500 \text{ (mAh)}$$

6v 9Wの回路には 1500mA の電流が流れる計算なので、

$$1500 \text{ (mA)} \times 90/60 \text{ (hr)} = 2200 \text{ (mAh)}$$

とおおむね合致していた。

#### ・ほかの実験方法に関する考察

ほかに乾電池のエネルギー総量を計算する実験方法はないか考えてみた。

たとえば、同じ回路で 5 分ごとに電圧と電流を計測し、そこからワット秒 (= ジュール) を計算する方法も考えてみた。

しかし、この場合も計測中は計測器に少し電流が流れるため、ロスとなってしまうし、電池から直接熱エネルギーとなった分は計測できないため、実際の総量よりは値が低くなることが予想される。

この案についても実験してみたかったが、今回時間が足りなかつたため、実験できなかつた。次回、実験してみて今回の実験結果とくらべてみたいと思う。

## 【結論】

実験から回路からのエネルギーのロスがゼロではないことを考えて、一番大きい値をとれば、

単3のアルカリ乾電池一本のエネルギー総量は

1320 cal (5544 J)強である

と考えられる。

## 【参考文献・参考サイト】

1、乾電池 wikipedia

2、パナソニック乾電池 <http://panasonic.jp/battery/drycell/>

3、乾電池について/電池工業会 [www.baj.or.jp/ga/battery](http://www.baj.or.jp/ga/battery)