物理チャレンジ 2019
実験問題
2019 年 8 月 17 日（土）

試験時間	13：40　～　18：30
実験器具後片付け	18：30　～　18：40

実験問題にチャレンジを始める前に下記の**＜注意事項＞**をよく読むこと。

＜注意事項＞

1．開始の合図があるまでは，机の上の問題冊子，解答用紙，下書き用紙，実験器具箱を開けてはいけない。
2．試験開始後、解答用紙の全てのページの所定の箇所にチャレンジ番号と氏名を記入しなさい。
3．試験開始後，４ページに記載の**注意事項**をまず読むこと。
4．実験結果や計算結果，式の導出など，採点して欲しい事項は解答用紙の所定の箇所に記入すること。下書き用紙は回収・採点しないので，解答はすべて解答用紙に記入すること。
5．解答用紙にグラフを描くときは方眼のグラフ用紙を使用すること。グラフ用紙は解答欄に合わせてはさみで切り，のりでしっかり貼ること。万一はがれたときのために，表面あるいは裏面に，必ずチャレンジ番号と氏名を書くこと。グラフ用紙が不足した場合は番号札を通路側に出して監督者に申し出ること。
6．持参した筆記用具と，与えられた実験装置，部品，定規，電卓以外は使用してはならない。
7．実験中に部品を壊した場合には，1 回だけ新しいものと交換できるので，番号札を通路側に出して監督者に申し出ること。2 回以上同じ部品を壊した場合には，さらに新品と交換できるが，減点となる。ただし，数には限りがあるので，交換できない場合もある。
8．試験開始後から 17：10 までは途中終了（途中放棄）することはできない。
9．試験時間中に気分が悪くなったときやトイレに行きたくなったとき，あるいは質問があるとき，試験を途中終了するときには，番号札を通路側に出して監督者に知らせること。
10. 終了の合図があれば，直ちに解答をやめ，解答用紙を机の上に置き，監督者による回収がおこなわれるまで静かに待つこと。その後，５ページに記載の部品リストを参照しながら細かい部品をビニール袋などに入れ，最初の状態にして実験器具を箱の中に片付けること。水や炭酸ナトリウム水溶液は，もとのペットボトルに戻すこと。

© NPO 物理オリンピック日本委員会 2019

目次

注意事項 4

単位について 4

指数関数と対数関数 4

部品リスト 5

課題Ⅰ　デジタルマルチメータによる電気抵抗の測定 6

課題II　コンデンサーに蓄えられた電荷と電気エネルギー 17

II-A　水の比熱の測定 21

II-B　アボガドロ定数の測定 24

注意事項

・実験課題はIとIIの２つであるが，それらは独立なので，どちらを先に行ってもよい。
・実験キットの箱に入っている水および炭酸ナトリウム（Na_2CO_3）水溶液は飲んではいけない。試験を開始してから約１時間後に配られるペットボトルの水を飲むこと。
・課題IIでは水と炭酸ナトリウム水溶液を使用するが，それをこぼした時には箱に入っているキッチンペーパーでふき取ること。実験終了時には，キッチンペーパーは箱に納めなくてよい。
・炭酸ナトリウム水溶液は弱アルカリ性なので，手を濡らしたり目に入ったりしないように注意すること。もし，そのような事態になったら，大量の水で洗い流す必要があるので，すぐに番号札を振って試験監督者に知らせること。
・使用後，水や炭酸ナトリウム水溶液は，もとの容器に戻すこと。
・課題 I-2 の手順２において，すべての未知抵抗に対して流れる電流値が 0 A となった場合，あるいは，課題 I-3 の手順２において，電流計モードにおける内部抵抗値が OL となった場合は，ヒューズが焼損し（切れ）ている可能性があるので監督者を呼ぶこと。

単位について

物理量の値を表すときには単位を忘れずにつけること。この時，単位をかっこなどで囲わない。例えば，「自転車の速さは $v = 18$ m/s である。」と書き，$v = 18$ (m/s) とか $v = 18$ [m/s] などとは書かない。

グラフの縦軸や横軸の名前も忘れに書くこと。その時には，「電流（A)」などと，かっこをつけて単位を書くか，「電流／A」と書く。今回の問題では，電圧（ボルト単位で測定）の自然対数（ln）をとってグラフを描く必要が出てくるが，そのときの軸の名前は「ln (電圧／V)」とする。

指数関数と対数関数

課題 II の実験データの解析には，指数関数と対数関数の知識が必要となるので，下記に説明しておく。必要なときに参照すること。

関数 $y = f(x) = a^x$ は x が 1 増える毎に a （＞0）倍される関数であり，（a を底とする）x の指数関数と呼ばれる。指数関数の逆関数は対数関数であり，$x = \log_a y$ となる。指数関数には指数法則 $a^x \cdot a^y = a^{x+y}$, $(a^x)^y = a^{xy}$ が成り立ち，これから対数関数は，$\log_a xy = \log_a x + \log_a y$, $\log_a x/y = \log_a x - \log_a y$, $\log_a x^y = y \log_a x$ などの性質を持つことがわかる。

底は $a^x = b^{kx}$ $(k = \log_b a)$ という関係式を使って変えることができるが，ネイピア数 $e = 2.718281828\ldots$ を底にした（自然）指数関数 $e^x = \exp(x)$ とその逆関数である自然対数 $\log_e x = \ln x$ が物理学では最も重要である。また，10 を底にした常用指数関数 10^x および常用対数関数 $\log_{10} x$ も使われることが多い。

x と y の間に　$y = A\ \mathrm{e}^{kx}$　という関係がある場合, 両辺の対数をとると, $\ln y = kx + \ln A$ となる。従って$\ln y$を縦軸（ $Y = \ln y$ ）, x を横軸（X=x）とするグラフをつくると, $Y = kX + \ln A$ という直線になる。これは，二つの量に指数関数の関係があるかどうかの確認と係数 k の決定にしばしば用いられる方法である。

部品リスト

		品名	個数
課題 I, II 共通		デジタルマルチメータ（赤黒プローブ付き）	２台
		ノリ	１個
		ハサミ	１個
		セロテープ	１個
		30 cm ものさし	１個
課題 I	ビニール袋 Ⓐ	単３電池ボックス（リード線・抵抗付き）	１個
		未知抵抗 A～D（小袋入り）	各１個
		ミノムシクリップ付き導線 (課題 II でも使用してよい)	３本
		単３電池	１個
課題 II		ブレッドボード	１個
		コンデンサー	４個
		アルミ支持棒	１本
		アルミ底板	１枚
		単２電池ボックス（リード線付き）	１個
		単２電池	２個
		発泡スチール容器（白色）とフタ （エナメル線つき抵抗が取り付け済み）	１個
		プラスチック容器（半透明）	１個
		アクリルパイプ（ピンチコック・ゴム管付き）	１個
		注射器（シリンジ）	１個
		白色角ペットボトル（水入り）	１個
		白色角ペットボトル（Na_2CO_3 水溶液入り）	１個
		ストップウォッチ	１個
		電子温度計	１個
		電子天秤（電池が入っていない場合には各自でセットする）	１個
		プラスドライバー(アルミ支持組み立て用)	１個
	ビニール袋 Ⓑ	アルミ支持板	１枚
		サラネジ（アルミ底板とアルミ支柱接続用）	１個
		ナベネジ（アルミ支持板取付用）	１個
		ナット（アルミ支持板取付用）	１個
		レンチ（アルミ支持板取付用）	１個
		らせん状銅線電極	１個
		ステンレス板電極	１個
		ブレッドボード用リード線	４本

課題Ⅰ：デジタルマルチメータによる電気抵抗の測定

【実験の目的】

課題 I では，いくつかの未知抵抗（部品リストのビニール袋Ⓐの中のもの）の抵抗値を，電池 1 個と，2 台のデジタルマルチメータを用いて，できるだけ高精度（大きい有効数字の桁数）で決定することを目的とする。

【抵抗の基礎知識】

●オームの法則

多くの導体について，その 2 点間の電圧（電位差） V はその間を流れる電流 I に比例する。

$$V = R \cdot I \qquad \ldots(1\text{-}1)$$

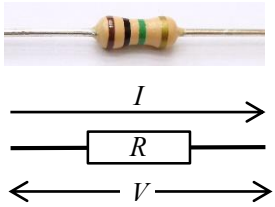

図 1-1. 抵抗

これをオームの法則といい，比例係数 R をその 2 点間の電気抵抗（抵抗値，あるいは単に抵抗）という。電圧の単位にボルト（V），電流の単位にアンペア（A），抵抗の単位にオーム（Ω）を用いる。これらの間には，$1\text{V} = 1\Omega \times 1\text{A}$ の関係が成り立つ。

目的の抵抗値をもつように作られた部品（回路素子）を抵抗器（あるいは単に抵抗）と呼び，回路図では図 1-1 のように表す。以下では，通常の書籍と同様に，誤解の恐れがない限り，「抵抗器」および「抵抗値」を単に「抵抗」と表記する。

●抵抗値の決定

一般に，ある物体の抵抗値を決定するには，出力可変の電源装置を用意し，試料の両端に加えた（正･負の）電圧とそのとき流れた電流の間の関係（電流・電圧特性）を調べ，それが原点を通る直線となることを確認の上，式(1-1)から，その勾配（の逆数）として値を求める，という手続きが必要である。オームの法則が成り立っていなければ，抵抗の値は一定には定まらないからである。

本課題では，使える装置が，単 3 電池 1 本，デジタルマルチメータ 2 台，結線用コード数本，と限られているので，オームの法則が成り立っていることの確認は省略して，ある一組の電圧と電流値だけから抵抗値をできるだけ高精度で求めることを目指す。

【測定器の基礎知識】

●デジタルマルチメータ

電圧，電流などの簡便な測定器にテスターあるいはマルチメータと呼ばれる装置がある。かつては指針の振れを読み取るアナログ方式のものが用いられたが，近年ではデジタル方

式のものが主流になっている。

本課題では，(株) マザーツール社製のデジタルマルチメータ（MT-4510）（図 1-2）を 2 台用いて複数個の未知抵抗の抵抗値を決定する。本器には直流電圧，交流電圧，直流電流，交流電流，抵抗，静電容量，周波数の測定のほか，導通テスト，ダイオードテストなどの機能があるが，これらの機能のうち，本課題では，直流電圧，直流電流，抵抗測定の 3 機能のみを用いる。

これら 3 機能の測定方法，注意点などは，取り扱い説明書を参照せよ。

図 1-2. デジタルマルチメータ

特に注意すべきことがらを以下に示す。

・目的の測定モードに応じてプローブ線（黒色コードと赤色コード）を本体の所定の入力ジャックに差し込む。

・ロータリースイッチで測定モードを選択する。オートレンジになって（Auto と表示されて）いることを確認。

・過大な電圧，電流を加えないこと。直流では，最大 1000 V，10 A まで。

・電圧測定，抵抗測定においては，オートレンジ（Auto と表示されている）で測定すれば，入力に応じて最適の（有効数字の桁数が最大となる）レンジが選ばれる。

・電流測定モードでは，電流の大きさによって，用いる入力ジャックとロータリースイッチで選ぶべき機能が異なる。表 1 は各レンジで測定（表示）可能な電流の最大値（レンジ）と最小値（分解能），用いる入力ジャックとロータリースイッチで選ぶべき機能を表す。大きさ不明の電流を測定するには，装置の損傷を防ぐため，初めは表 1 の最右端（10 A）のレンジを用いる。左隣のレンジでも測定可能であれば，RANGE ボタン，ロータリースイッチ，入力ジャックを用いて，順次左隣のレンジを用い，有効桁数最大の状態で読み取る。

表 1　直流電流測定のレンジ

レンジ＝最大値	400 μA	4000 μA	40 mA	400 mA	4 A	10 A
分解能＝最小値	0.1 μA	1 μA	0.01 mA	0.1 mA	0.001 A	0.01 A
ロータリースイッチ	μA		mA		10 A	
入力ジャック	μA/mA				10 A	

・表示画面には，選択されている機能，測定レンジ，測定値などが表示される。測定値は，0000 から 3999 までの数字と小数点および単位と負号（負の場合）によって表される。

・測定レンジは，初め（ロータリースイッチによる機能選択直後）はオートレンジになって

いる。レンジを手動で変更するにはレンジ切換（RANGE）ボタンを押す。押すたびに次のレンジに変更される。測定レンジそのものは明示されていないが，小数点の位置と単位から知ることができる。オートレンジに戻すには，そのボタンを長押し（約 1 秒）する。

・測定値は，表示が落ち着くのを待って読み取り，記録する。表示がふらつく場合は，その中心値を読み取る。通電による温度変化や電池の消耗によって，表示が一方的に変わり続ける場合もあるかもしれない。表示固定ボタンを押すと，その瞬間の表示を固定することができる。このとき，画面には HOLD マークが表示されている。もう一度押すと表示固定が解除される。

・本装置では，電源電池の消耗を防止するため，何も操作せずに約 15 分経過すると，自動的に電源が OFF となる。元の測定を継続するには，表示固定ボタンを押せば良い。再開後，HOLD マークが表示されていたら，もう一度押して HOLD マークを消す。

●電圧計および電流計

電圧測定と電流測定は電気的な測定の基本である。以下では，直流回路の場合を取り上げる。

電圧測定とは，作動している回路中の，ある２点間の電圧（電位差）を測定することであり，電流測定とは，作動している回路中の，ある経路を流れる電流を測定することである。

電圧測定および電流測定に用いる計器をそれぞれ，電圧計および電流計という。本課題では，電圧測定モードおよび電流測定モードに設定したデジタルマルチメータを電圧計および電流計として用いる。

電圧計や電流計は２つの端子（プローブという）を持っており，電圧計は２つの端子間の電位差を表示し，電流計は，一方（赤）の端子から流入し，他方（黒）の端子から流出する電流を表示する。

電圧測定では，作動したままの回路中の測定したい２点に電圧計の２つのプローブを接触させる（並列）。電流測定では，回路の動作を一時停止し，回路中の測定したい経路を切断し（回路を開き），その間に電流計を挿入し（直列），回路を再び動作させ（回路を閉じ）て電流を読み取る。

●抵抗測定モードによる未知抵抗の直接測定

方法①：抵抗値の直接測定

デジタルマルチメータを用いて未知抵抗器の抵抗値の決める最も簡便な方法は，デジタルマルチメータを抵抗測定モードにセットし，2 本のプローブを未知抵抗の両端に接続して抵抗値を測定する方法である。

本器で測定・表示できる抵抗値は，0.1 Ω ～ 39.99 MΩ であり，それより小さい抵抗は 0 Ω，大きい抵抗は OL と表示されて正しく測定されない。また，最小の分解能が 0.1 Ω で

あるので，小さな抵抗値の場合は得られる有効桁数が小さく，測定精度が低くなる。

課題 I-1　抵抗モードによる未知抵抗の直接測定

Ⓐと書かれたビニール袋のなかの小袋に入っている 4 個の未知抵抗 A~D のそれぞれについて，それぞれの抵抗値を，デジタルマルチメータを抵抗測定モードにして測定しなさい（方法①）。OL と表示され，測定不能であった場合はそのように記しなさい。

注意 : ミノムシクリップで抵抗の両端の銅線をはさむ場合，接触が悪いと接触抵抗のため，過大な抵抗値を示したり，表示が不安定だったりする可能性がある。特に，微小な抵抗値の測定においては，ミノムシクリップではさんだ後，クリップで銅線をこすると接触抵抗が小さくなり安定する。

●電流計および電圧計モードによる未知抵抗の測定

方法②：電流と電圧を測定して抵抗値を決定

2 台のデジタルマルチメータの一方を電流計として，他方を電圧計として用い，未知抵抗を流れる電流 I と両端の電圧 V を測定し，式(1-1) により抵抗値 R を算出する。ただし，本課題では，電源として電池 1 個しか使えないため，未知抵抗値が大きい場合，流れる電流が電流計の測定範囲の下限以下になったり，得られる有効桁数が小さくなることがある。その場合，この測定法では高精度の測定はできない。

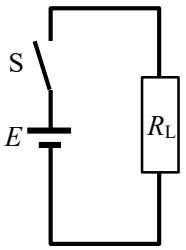

図 1-3.

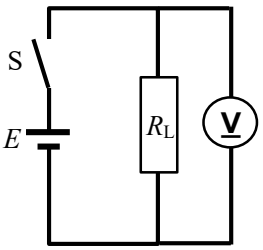

図 1-4.

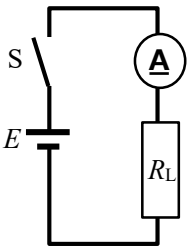

図 1-5.

図 1-3 のように，電池・スイッチ・抵抗をループ状につなぎ，スイッチを on にしたときの抵抗の両端の電圧および抵抗を流れる電流を測るには，電圧計は抵抗と並列に図 1-4 のように，電流計は抵抗と直列に図 1-5 のように接続する。このとき，図 1-4 で読み取った電圧と図 1-5 で読み取った電流が，図 1-3 の状態での抵抗の両端の電圧と抵抗を流れる電流に等しいとは限らない。

式(1-1) を使って抵抗値 R を求めるためには，電流 I と電圧 V を同時に測定することが必要である。電流を読み取るためには電流計は図 1-5 のようにつながなければならない。この状態でさらに電圧計をつなぐには，図 1-6 と図 1-7 の 2 つの結線方法が考えられる。

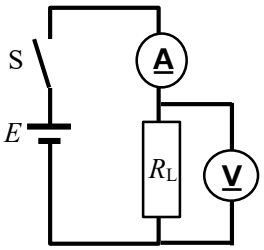

図 1-6.

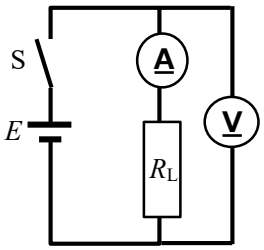

図 1-7.

課題 I-2　電流と電圧を測定して抵抗値を決定

デジタルマルチメータ 2 台を電圧計，電流計各 1 台として用い，4 個の未知抵抗器 A~D のそれぞれについて，その抵抗値を図 1-6 と図 1-7 の方法で決定する。

・**手順１**：単３用２連電池ボックス（スイッチ付き）の空いている側に単３電池１本を挿入し，スイッチを off にセットしなさい。

・**手順２**：デジタルマルチメータの１台を電流計として用いる。赤色プローブを電流 10 A 測定用の入力ジャックに差し込み，ロータリースイッチを電流 10 A 測定モードにセットする。もう 1 台のデジタルマルチメータを電圧計として用いる。赤色プローブを電圧測定モード用の入力ジャックに差し込み，ロータリースイッチを電圧測定モードにセットせよ。電流計，電圧計として用いるデジタルマルチメータそれぞれの機番（本体背面に貼ったテープに印字されている”JPhO”で始まる番号）を解答用紙に記録しなさい。

・**手順３**：未知抵抗の 1 個と電池ボックス，電流計を図 1-5 のように結線せよ。スイッチは off のままとする。

・**手順４**：スイッチを on にセットし，電流計の指示値を読み取り，記録せよ。得られる数値の有効桁数が最大になるように，必要なら，ロータリースイッチを選びなおし，用いる入力ジャックを変更せよ。また，数値を読み取ったときの画面のレンジを記録しておく。測定が終了したらスイッチを off にする。

・**手順５**：図 1-5 の状態の回路に電圧計を接続して図 1-6 の状態にしなさい。

・**手順６**：スイッチを on にセットし，電圧計および電流計の指示値を読み取り，記録せよ。電圧・電流ともに得られる数値の有効桁数が最大になるようにレンジを選び，数値を読み取ったときの画面のレンジを記録する。測定が終了したらスイッチを off にする。

・**手順７**：電圧計を接続しなおして図 1-7 の状態にしなさい。

・**手順８**：スイッチを on にセットし，電圧計および電流計の指示値を読み取り，解答用紙に記録しなさい。電圧・電流ともに得られる数値の有効桁数が最大になるようにレンジを選び，数値を読み取ったときの画面のレンジを記録しておけ。測定が終了したらスイッチを off にする。

・**手順９**：手順３以下を繰り返し行い，すべての未知抵抗を測定しなさい。

・**手順１０**：各未知抵抗について，図 1-6 および図 1-7 の両方の結線法で読み取った電圧

V，電流 I の値から式(1-1)によって，それぞれの未知抵抗の値（これを見かけの抵抗値 R_X と呼ぶことにする）を算出しなさい。

結果は解答用紙の表中の所定の欄に，単位，有効数字の桁数に気を付けて記載せよ。測定不能，算出不能の量についてはそのように記しなさい。

●内部抵抗

課題 I-2 の結果を考察する。各未知抵抗器について，図 1-5～図 1-7 で測定した３つの電流値と２つの電圧値のなかには互いに一致しないものがあったであろう。その原因のひとつは，電圧計や電流計が「理想的」ではないことにある。電圧計や電流計が「理想的」であれば，図 1-4～図 1-7 のように接続したとき読み取られる電圧や電流はすべて互いに一致し，図 1-3 の状態における抵抗の両端の電圧や流れる電流に等しくなるであろう。しかし，課題 I-2 の結果から，そうなっていない。

「理想的」な電流計であるためには，その内部を電流が流れても，電流計の両端子の間に電位差が生じないこと，すなわち，電流計の両端子の間の抵抗が 0 である必要がある。

「理想的」な電圧計であるためには，両端子を電位差のある２点に接続しても，その内部を電流が流れないこと，すなわち，電圧計の両端子の間の抵抗が ∞ である必要がある。

すなわち，現実の電圧計や電流計の両端子間には有限の抵抗が存在する。これを電圧計や電流計の「内部抵抗」と呼ぶ。工業製品では「理想的」に近い電圧計や電流計を実現するため，電圧計の内部抵抗 R_V はできるだけ大きく，電流計の内部抵抗 r_A はできるだけ小さくなるように作られているが，R_V は∞ではなく，r_A は 0 ではない。

図 1-4～図 1-7 で用いてきた電圧計，電流計の記号で理想的な電圧計，電流計を表すことにすると，内部抵抗のある現実の電圧計，電流計は，それぞれ，理想的な電圧計，電流計と内部抵抗が図 1-8，図 1-9 のように，直列あるいは並列に接続されたものと同等であると考えられる。このように，現実の電圧計，電流計の機能を（近似的に）表現する破線で囲まれた部分を「等価回路」という。

一方，電池から電流を取り出すと，電池の両極間の電圧（端子電圧）V は，開放時（何もつながないとき）の電圧（起電力）E に比べ減少する。その減少量は，取り出す電流にほぼ比例することが知られている。この比例係数 r_B を電池の内部抵抗という。内部抵抗をもつ電池の特性は図 1-10 のような等価回路で表現され，起電力 E と，電池の両端に現れる電圧 V との関係は次のように書ける。

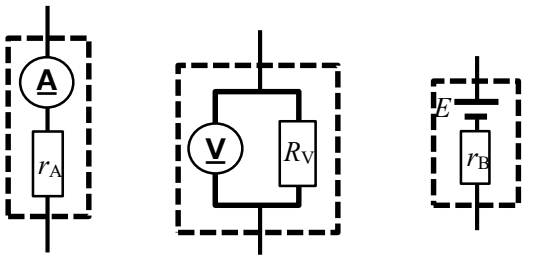

図 1-8. 現実の電流計　**図 1-9**. 現実の電圧計　**図 1-10**. 現実の電池

$$V = E - r_B \cdot I \qquad \text{…(1-2)}$$

本課題では，誤接続によるデジタルマルチメータの損傷を防ぐため，人工的に $r_B = 10\,\Omega$ の抵抗を単３電池（$E = 1.5$ V 程度）１本と直列に接続しており，これを含めて電池の「内部抵抗」と考えることにする。

●電圧計・電流計の内部抵抗の測定

課題 I-3　デジタルマルチメータ（電流計モード，電圧計モード）の内部抵抗の測定

・**手順１**：課題 I-2 で電圧計として使用した（記録した機番を確認せよ）デジタルマルチメータを電圧測定モードにセットし，その端子間の抵抗値（内部抵抗）R_V を，もう一方のデジタルマルチメータを抵抗測定モードにセットして測定しなさい。内部抵抗は電圧測定モードにおけるレンジごとに異なる（可能性がある）ので，RANGE ボタンを用いてレンジを固定した状態で解答用紙の該当箇所の表に示されたすべてのレンジについて内部抵抗値を測定して解答用紙に記録しなさい。

・**手順２**：課題 I-2 で電流計として使用した（記録した機番を確認せよ）デジタルマルチメータを電流測定モードにセットし，その端子間の抵抗値（内部抵抗）r_A を，もう一方のデジタルマルチメータを抵抗測定モードにセットして測定しなさい。内部抵抗は電流測定モードにおけるレンジごとに異なる（可能性がある）ので，プローブを差し込む入力ジャック，ロータリースイッチ，RANGE ボタンを用いてレンジを固定した状態で解答用紙の該当箇所の表に示されたすべてのレンジについて内部抵抗値を測定せよ。

注意：仕様書によると，電圧測定モードにおける入力インピーダンス（内部抵抗）は 10 MΩ とされている。実測すると，多くのレンジでは仕様書の値に近い結果が得られるが，400 mV レンジのときだけ，内部抵抗は OL と表示されたであろう。これは内部抵抗が抵抗測定モードの測定限界（最大 40 MΩ ）より大きいことを意味する。詳しい測定により，このレンジでの内部抵抗は，10 GΩ （GΩ はギガオームと読み，$1\ \mathrm{G\Omega} = 10^3\ \mathrm{M\Omega} = 10^9\ \Omega$ である）程度であることが分かっている。以下では，必要なら， 400 mV レンジでの内部抵抗を 10 GΩ として使ってよい。

●電圧計・電流計の内部抵抗の影響の補正

図 1-5，図 1-6，図 1-7 の回路図中の電池，電圧計，電流計の内部抵抗の効果を等価回路で表現すると，図 1-11，図 1-12，図 1-13 のようになる。課題 I-2 において図 1-6，図 1-7 の回路について行った測定は，実際には，図 1-12 および図 1-13 の等価回路について測定されていたと考えられる。

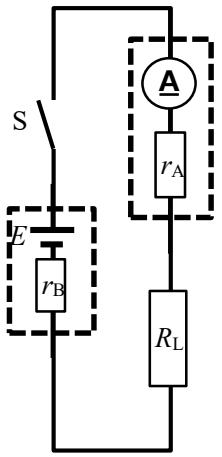

図 1-11.

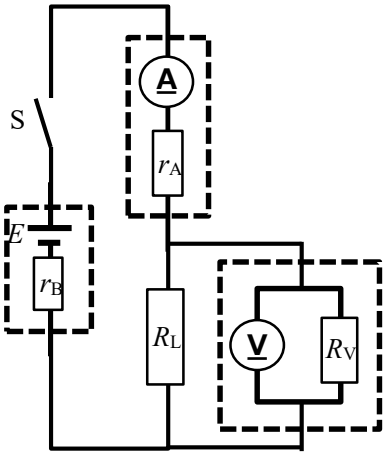

図 1-12.

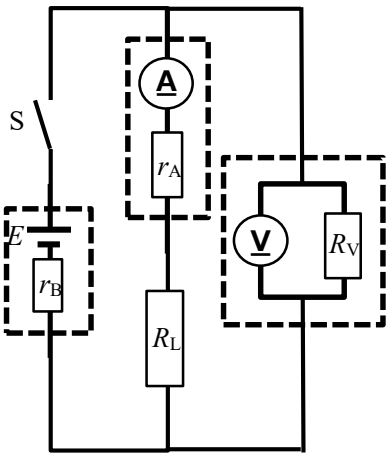

図 1-13.

電圧計や電流計が理想的であれば，図 1-12 あるいは図 1-13 のいずれの測定回路を用いた場合でも，得られた見かけの抵抗値 R_X は未知抵抗の真の値 R_L と一致するはずであるが，実際には，電圧計，電流計には，それぞれ，有限の内部抵抗 R_V，r_A があるので，R_X は R_L と一致しない。

図 1-12 の方法では，未知抵抗器の両端の電圧は電圧計で読み取った電圧 V に等しいが，未知抵抗を流れる電流 $I_L = V/R_L$ は，電流計で読み取った電流 $I = V/R_X$ に比べ，電圧計を流れる電流 $I_V = V/R_V$ の分だけ小さくなる。

図 1-13 の方法では，未知抵抗を流れる電流は，電流計で読み取った電流 I に等しいが，未知抵抗の両端の電圧 $V_L = IR_L$ は電圧計で読み取った電圧 $V = I \cdot R_X$ に比べ，電流計の両端の電圧 $V = I \cdot r_A$ の分だけ小さくなる。

課題 I-4　電圧計・電流計の内部抵抗の影響の補正式

図 1-12 や図 1-13 の測定回路を用いた場合，電圧計や電流計の内部抵抗の大きさが不明のときは，見かけの抵抗値 R_X を未知抵抗の真の値 R_L として採用することになる。

電圧計，電流計の内部抵抗の値が，それぞれ，R_V，r_A であることが知られていれば，その影響を補正した，未知抵抗の真の値 R_L を求めることができる。

図 1-12 および図 1-13 のそれぞれの場合について，R_L を R_X，R_V，r_A で表す式を導け。

● 電圧計・電流計の内部抵抗の影響の補正

課題 I-5　電圧計・電流計の内部抵抗の影響を補正した未知抵抗の値

4 個の未知抵抗器 A~D のそれぞれについて，課題 I-2 で求めた見かけの抵抗値 R_X，課題 1-3 で測定した電圧計および電流計の内部抵抗の値 R_V および r_A，そして課題 I-4 で求めた補正式を用いて，内部抵抗の影響を補正した未知抵抗値 R_L を算出しなさい。算出過程と得られた結果は，解答用紙の該当箇所の表中に単位，有効数字の桁数に気を付けて記載しなさい。算出不能の量についてはそのように記すこと。解答用紙の該当箇所にはじめに R_X の値を記入し，途中の空欄は算出過程で必要となる量を記入するために用いなさい。

課題 I-6　デジタルマルチメータによる未知抵抗値の測定結果の考察

4 個の未知抵抗 A~D のそれぞれについて，課題 I-1 において抵抗測定モードで直接得た抵抗値，課題 I-2～I-5 で図 1-12 および図 1-13 で求めた見かけの抵抗値 R_X，およびそれぞれの補正後の値 R_L の合計で 5 つの値を解答用紙の所定の欄に記入しなさい。測定不能あるいは算出不能の量についてはそのように記入すること。

それらのうち，実際に得られた値を相互に比較し，それらの異同（一致か不一致か），測定方法の優劣（測定精度の高さ）などについて考察せよ。測定不能あるいは算出不能の量については，その理由を記し，測定方法ごとに得られた情報から，未知抵抗値の上限値あるいは下限値を推定せよ。

●標準抵抗と比較して未知抵抗の値を測定

方法③：標準抵抗との比較

方法①と②は，個々の未知抵抗の値を直接決定する方法であるが，既に抵抗値の分かっている抵抗を標準抵抗として，その抵抗値と未知抵抗値の比を決定することでも未知抵抗の値を求めることができる。２つの抵抗を直列あるいは並列に接続する２つの方法がある。

図 1-14 のように抵抗値 R_L の未知抵抗と抵抗値 R_S の標準抵抗とを直列接続したものを電池に接続する。この状態では，それぞれの抵抗を流れる電流 I は共通であり，未知抵抗および標準抵抗の両端の電圧 V_L および V_S が分かれば，

$$I = \frac{V_L}{R_L} = \frac{V_S}{R_S} \qquad \cdots(1\text{-}3)$$

が成り立つので未知抵抗の値 R_L を決定できる。

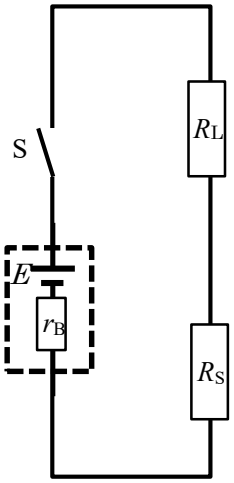

図 1-14.

実際には，電圧測定モードにした２台のデジタルマルチメータを用いて，各抵抗器の両端の電圧 V_L および V_S を決めることになるが，どのように結線しても，２台の電圧計の内部抵抗 R_{V1} および R_{V2} が影響し，両抵抗を流れる電流が一致するとは限らない。未知抵抗値を決定するには，２台の電圧計の結線の仕方，電圧計の内部抵抗の影響の補正方法を工夫する必要がある。

図 1-15 のように抵抗値 R_L の未知抵抗と抵抗値 R_S の標準抵抗とを並列接続したものを電池に接続する。この状態においては，各抵抗の両端の電圧 V は共通であり，未知抵抗器および標準抵抗器を流れる電流 I_L および I_S が分かれば，

$$V = R_L I_L = R_S I_S \qquad \cdots(1\text{-}4)$$

が成り立つので未知抵抗の値 R_L を決定できる。

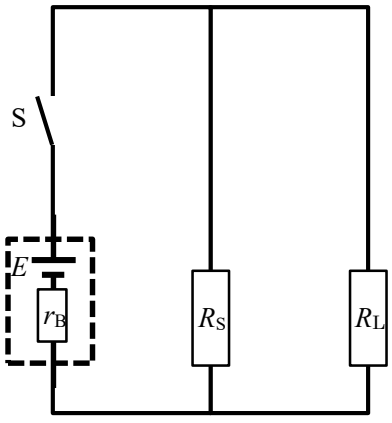

図 1-15.

実際には，電流測定モードにした２台のデジタルマルチメータを用いて，各抵抗器を流れる電流 I_L および I_S を決めることになるが，どのように結線しても，２台の電流計の内部抵抗 r_{A1} および r_{A2} が影響し，R_L と R_S の両端の電圧が一致するとは限らない。未知抵抗値を決定するには，２台の電流計の結線の仕方，電流計の内部抵抗の影響の補正方法を工夫する必要がある。

課題 I-7　標準抵抗と比較して未知抵抗の値を測定

課題 I-1 で行った抵抗測定モードでの測定（方法①）や課題 I-2～I-5 で行った電圧と電流の測定（方法②）によっても抵抗値を決定できなかった未知抵抗があったであろう。そ（れら）の未知抵抗（複数あった場合はその一つ）について，標準抵抗と比較する測定方法（方法③）を工夫して，値を決定し，その方法，測定結果，解析結果を解答用紙に記述しなさい。

標準抵抗として，方法①で抵抗値が得られた未知抵抗のうちから最適なものを選び，その抵抗値としては方法①で得られた値を用いよ。

測定方法については，回路図を示し，その方法を選んだ理由，とくに工夫した点を記せ。回路図には，測定する電圧，電流などがどの部分についてのものであるかを明示しなさい。

課題 I-8　標準抵抗と比較して未知抵抗の値を測定（２）

課題 I-5（方法②）で補正した抵抗値を決定できた未知抵抗に対して，課題 I-7 で行った標準抵抗と比較する測定方法（方法③）を適用すると，より高精度で未知抵抗値を決められるものがあるかもしれない。そのような未知抵抗があれば，その未知抵抗（複数あった場合はその一つ）について，方法③を適用し，結果を課題 I-7 と同様な形式で記述せよ。

課題 II：コンデンサーに蓄えられた電荷と電気エネルギー

【実験の目的】

コンデンサー（キャパシターともいう）は，電荷を蓄えたり（充電），放出したり（放電）できる電子部品である。充電されると電気エネルギー（静電エネルギーともいう）が蓄えられ，そのエネルギーを熱エネルギーに変換したり，化学反応を起こしたりすることができる。この実験課題では，次の２つの実験を行う。

（実験 II-A）コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーを熱エネルギーに変換して水を温め，その結果から水の比熱を求める。

（実験 II-B）コンデンサーに蓄えられた電荷によって水の電気分解を起こし，その結果からアボガドロ定数を求める。

【コンデンサーの基礎知識】

コンデンサーの構造は，図 2-1(a)のように電気的に絶縁されて近接した一対の導体（電極）からなる。この二つの電極間に 電池をつなぐと,一方に正の電荷が, 他方に負の電荷が誘導・蓄積され, 電池を外してもこの電荷はそのまま保持される。正電荷量と負電荷量は等しくコンデンサー全体は中性である。

各電極に蓄積される電荷（電気量）＋Q，－Q は電圧 V に比例し

$$Q = C \cdot V \qquad \text{…(2-1)}$$

とかける。このときの比例係数 C を静電容量（電気容量，キャパシタンス）と言う。静電容量は C/V（クーロン毎ボルト）の単位を持ち，これを F（ファラッド）と呼ぶ。

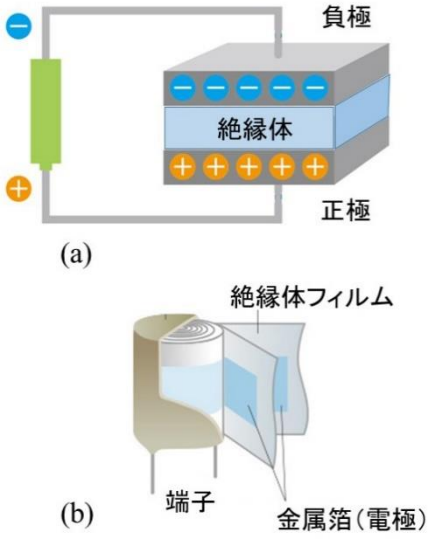

図 2-1. コンデンサーの構造。(a) 模式図。(b) 実際の構造の例。

実際のコンデンサーの構造は図 2-1(b)に示すように，絶縁体の薄いフィルムを使って，その両側に正極・負極となる金属箔をつけ，多重に巻き付けて面積を大きくして静電容量を大きくしている。

電気回路で用いるコンデンサーの静電容量は，通常 1 pF（ピコファラッド，10^{-12} F）から 1 mF（ミリファラッド，10^{-3} F）程度の範囲であるが， 近年極めて大きな静電容量を持つコンデンサー（スーパーキャパシターと呼ばれる）が手軽に使えるようになった。この実

験課題でもスーパーキャパシターを使う。スーパーキャパシターでは，正極と負極の間が電解質で満たされ，電圧が加えられると電解質中の陽イオンと陰イオンが 2 つの電極に接する表面に誘導されて電極とのあいだに表面電気二重層を形成し，その結果，大きな静電容量 C が得られる。つまり低い電圧でも蓄えられる電荷 Q が大きくなる。このタイプのコンデンサーを電気二重層コンデンサーと呼ぶ。

【コンデンサーの取り扱い上の注意】

スーパーキャパシター（電気二重層コンデンサー）は静電容量が大きいという特徴と共に以下の性質も持つ。実験に あたってはこれらの特性を理解し，注意して行わなければならない。

1. コンデンサーの正（＋）極と負（－）極が決まっているので，正負逆の電圧を印加するとコンデンサーが壊れたり破裂などの事故につながったりする可能性がある。回路にコンデンサーをつなぐときには，正極と負極を間違えずに接続すること。
2. コンデンサーに印加することのできる電圧には上限（耐電圧）がある。上限以上の電圧を加えると， 場合によっては破裂などの事故につながる。この実験課題で使用するコンデンサーの耐電圧は 3 V であるので，単 2 電池 2 本しか使用しない。（課題 I で使った単 3 電池を使ってはいけない。）
3. この実験課題では，充電したコンデンサーを直列接続するが，その両端には大きな電位差が生じている可能性があり，感電の危険性があるので注意すること。感電時の人体への危険度は，静電容量の（従って静電エネルギーの）大きいコンデンサーほど高い。この課題では 4 個のコンデンサーを使用するので電圧は最大 12 V である。

【コンデンサーの充電】

図 2 -2(a) のように電池（起電力 E）に抵抗（抵抗 R）とコンデンサー（静電容量 C） を直列につないで充電する場合を考える。つないだ直後は，コンデンサーに電流 $I\ (=E/R)$ が流れて充電されるので, コンデンサーに蓄積される電荷 Q は，時間 t に比例して $Q = I \cdot t$ となる。よって，式(2-1)より，コンデンサーの電圧 V は， $V = Q/C$ となるので，コンデンサーにかかる電圧は

$$V(t) = \frac{I}{C} \cdot t \qquad \ldots(2\text{-}2)$$

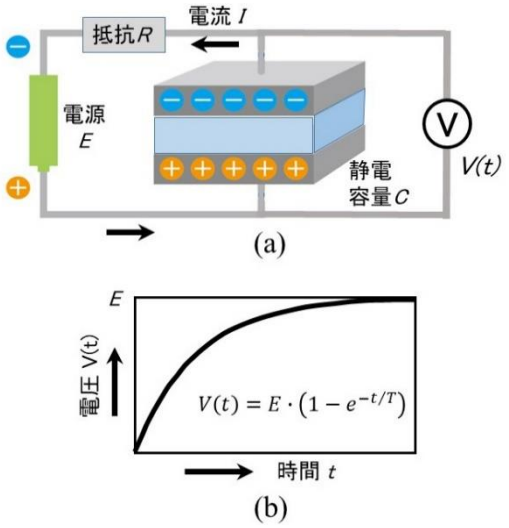

図 2-2. コンデンサーの充電。(a) 充電時の回路。(b) 充電中のコンデンサーの電圧の時間変化。

と時間に比例して増加する。コンデンサーに流れ込む電流 I は抵抗 R を流れる電流に等しく，

$$I = \frac{(E - V(t))}{R} \quad \text{…(2-3)}$$

である。充電し続けると，コンデンサーの電圧$V(t)$が式(2-2)に従って大きくなり，E に近づいていくので，式(2-3)によって，流れる電流 I が次第に小さくなり，充電の速さが遅くなる。十分長い時間が経つと$V(t)$が E に等しくなり，その結果，$I = 0$ となる。つまり，これ以上充電が進まないことになる。この全過程での$V(t)$の時間変化は，自然指数関数を使って

$$V(t) = E \cdot \left(1 - e^{-t/T}\right) \quad \text{…(2-4)}$$

とまとめることができ，その形は図 2-2(b) となる。ここで T=CR　であり，単位は[C]=クーロン毎ボルト，[R]=ボルト毎アンペアなので，結局 [T]=クーロン毎アンペア=秒 となる。T を「時定数」と呼ぶ。T は充電や放電に要する時間の目安を与える，つまり，C や R が大きいほど充電や放電に時間がかかることを意味する。なお一般に電池は内部抵抗があり導線の抵抗もあるので，R にはそれらを含めて考える必要がある。

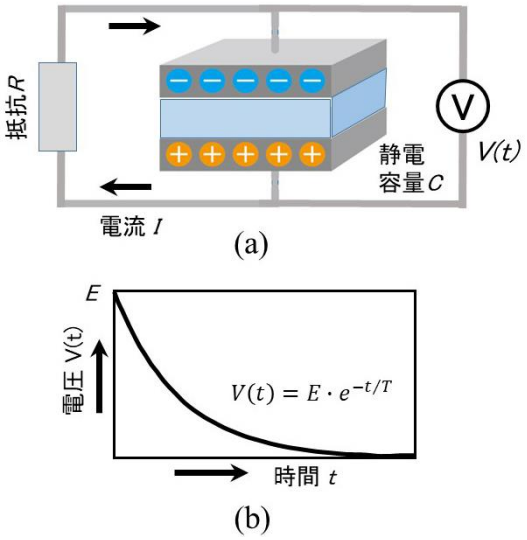

図 2-3. コンデンサーの放電。(a) 放電時の回路。(b) 放電中のコンデンサーの電圧の時間変化。

【コンデンサーの放電】

図 2-3 (a) のように，充電されたコンデンサー（そのときのコンデンサーの両端の電圧を E とする）に抵抗 Rをつないで放電させるとき，コンデンサーの電圧の時間変化は自然指数関数をつかって以下ように書け，その形は図 2-3(b)となる；

$$V(t) = E \cdot e^{-t/T} \quad \text{…(2-5)}$$

つまり，コンデンサーの両端の電圧が高いときには大きな電流が流れ，その結果，コンデンサーの電圧が急激に減少する。その結果，流れる電流が減るので，コンデンサーの電圧の減少も遅くなる。コンデンサーの電圧が小さくなるほど，電圧の減少がゆっくりにな

る。電圧が完全にゼロになるまでには長い時間がかかるので，電圧が 1 V 以下の低い電圧になっていれば，コンデンサーを次に実験に使うために再充電してもかまわない。

【コンデンサーに蓄えられる静電エネルギー】

図 2-2(a) のように，コンデンサーを充電するとき，電池は $E \cdot Q$ の仕事をする。そのエネルギーの一部（実は半分）は，充電されたコンデンサーに静電エネルギーとして蓄えられる。

図 2-3 のように，放電時には，コンデンサーに蓄えられていた静電エネルギーが抵抗 R でジュール熱となって熱エネルギーに変換される。コンデンサーの電圧が V のとき蓄積されている静電エネルギーU は

$$U = \frac{1}{2}CV^2 \qquad \text{….(2-6)}$$

と書ける。

図 2-4. 本実験で使用するスーパーキャパシターと回路記号

課題 II-A：水の比熱の測定

コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーを，抵抗を使って熱ネルギーに変換して水を温め，その結果から水の比熱を求める。

● コンデンサーの充電

この実験では 4 個のスーパーキャパシターを使用する（図 2-4)。耐電圧は 3V である。円筒から出ている 2 本の端子が電極につながっており，正極，負極の別は円筒上面に示されている。

ブレッドボード上の指定された箇所に 4 個のスーパーキャパシターを差し込み（図 2-5(c)），並列に接続された状態で電池（1.5 V の単２電池を直列に 2 個接続）から充電する。

その回路をブレッドボード上で作りなさい。その際，以下の点に注意すること。

(1) 電池ボックスのスイッチは OFF の状態にしておくこと。

(2) ブレットボード（図 2-5(a)）とは電子部品やリード線を穴に差し込むだけで電気回路を組むことのできる板である。図 2-5(b)に示したように、その裏から見た内部の写真を見ると，どの穴とどの穴が金属で接続

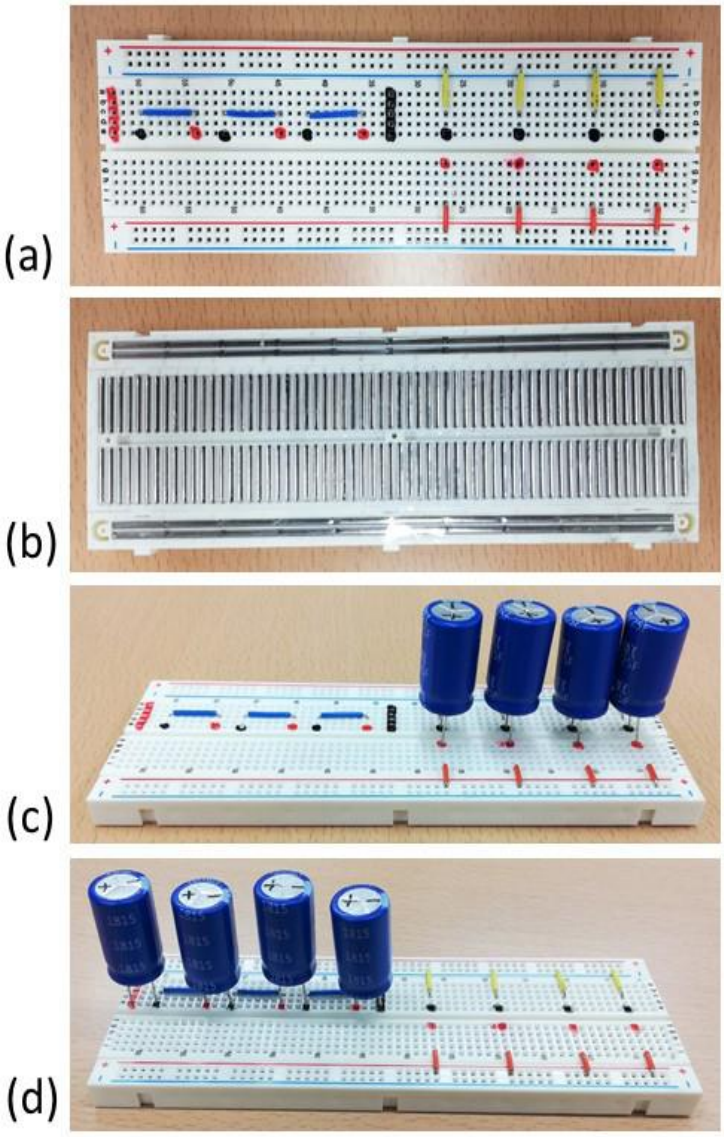

図 2-5. ブレッドボード。(a) (b)コンデンサーを差し込む前の表面と裏面。裏面で穴どうしが金属で接続されていることに注意。しかし，配布されている実機では裏面にシールが貼ってあって接続の様子は見えない。(c) 充電のためにコンデンサーを差し込んだ状態。(d) 放電のためにコンデンサーを差し込んだ状態。表面で配線されているコード線の色は異なる場合がある。

されて導通しているのかわかるので，それを考慮して回路を組み立てること。（しかし，実機では裏面にシールが貼ってあって接続の様子は見えないので，図 2-5(b)をよく見ること。）また，ブレッドボード表面でもすでにコード線で接続されている箇所があるので，それらを利用して回路を作ること。

(3) ブレッドボード表面上（図 2-5(a)参照）の充電用端子の赤で示された穴にコンデンサーの正(＋)極を差し込み，黒の穴にコンデンサーの負(—)極を差し込み，図 2-5(c)となるように接続する。コンデンサーの正(＋)極と負(—)極を間違えないこと。それに合わせて電池ボックスからのリード線の極性を間違えずにブレッドボードの適切な穴に接続すること。

(4) コンデンサーの両端の電圧を測定するためのデジタルテスタへの接続は，ブレッドボード上の穴を利用して適切に行う。そのためのリード線は，ビニール袋Ⓑに入っているので適宜使用すること。

課題 IIA-1　この 4 個のスーパーキャパシターを並列に接続して電池で充電する回路図を答案用紙に描きなさい。その際，スーパーキャパシターの両端の電圧を測定するための電圧計（デジタルマルチメータ）も回路に入れて描きなさい。

回路が接続していることを確認したら，スイッチを ON にして充電を開始しなさい。電圧計の値を見て，スーパーキャパシターの両端の電圧が，約 2.8 V になったらスイッチを OFF にしなさい。これでスーパーキャパシターの充電が完了した。

● コンデンサーの放電

次に，4 個のスーパーキャパシターを直列に接続し直し，さらにそこに抵抗をつないで放電させ，抵抗で発生するジュール熱で水を温める。その時の温度上昇から水の比熱を求める。

電子天秤を利用し，抵抗が取り付けられている発泡スチロールカップ（図 2-6 参照）に水を 70 g 入れ，カップにふたをしなさい。水は飲用の冷水ではなく，四角い白いペットボトルに入ったものを使用すること。

課題 IIA-2　発泡スチロールカップ（白色）に取り付けられている抵抗の両端につながっているエナメル線（図 2-6 参照）にデジタルマルチメータを接続して抵抗値 R を測定し，その値を解答用紙に記入しなさい。

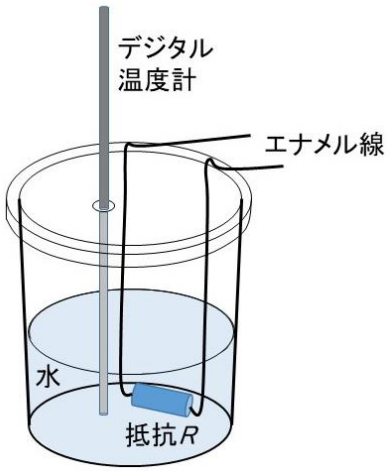

図 2-6. 水の比熱測定用の発泡スチロールカップ（白色）

図 2-5(d) に示したように，ブレッドボード上の放電用の指定された箇所（赤穴が正極，黒穴が負極）に 4 個のスーパーキャパシターを差し込み，それらが直列に接続された状態にしなさい。その際スーパーキャパシターの電極には触らないこと。電極に接触すると放電する可能性があるので注意。

さらに，その両端に図 2-6 の発泡スチロールカップのなかの抵抗からのエナメル線 2 本のうちの一方をブレッドボードの適切な穴に接続しなさい。抵抗からのもう一方のエナメル線はまだ接続しないでおくこと。

課題 IIA-3　現在の回路図を答案用紙に描きなさい。その際，直列につないだ 4 個のコンデンサーの電圧を測定するために電圧計（デジタルマルチメータ）もブレッドボード上の適切な位置に接続し，それも回路図に描き入れなさい。

課題 IIA-4　カップをゆすって水を十分かき混ぜる。デジタル温度計をカップのふたに突き刺し，水に入れて水温を測定し，その値を解答用紙に記入しなさい。そのあと，デジタル温度計はカップから抜いておく。

課題 IIA-5　抵抗からの片方のエナメル線をブレッドボードに接続してコンデンサーの放電を開始し，同時にストップウオッチで時間の計測を開始する。（ただし経過時間 0 秒での電圧は，放電開始前に測定しておくこと。）放電の経過時間 15 秒ごとに抵抗両端の電圧を測定して解答用紙に記録する。放電開始後，7 分間，この測定を継続する。7 分経ったら直ちにエナメル線の片方をブレッドボードから抜いて放電を停止する。

課題 IIA-6　発泡スチロールカップをゆすって水を十分かき混ぜる。デジタル温度計をカップのフタから突き刺し，水温を測り，その値を解答用紙に記入する。

課題 IIA-5 の測定を失敗した場合，コンデンサーの充電からやり直すこと。

●データ解析

放電中のコンデンサーの電圧の変化からコンデンサーの静電容量と放出された静電エネルギーを求める。さらに，その静電エネルギーが，熱エネルギーに変換されて水の温度を上昇させたとして，水の比熱を求める。

課題 IIA-7　課題 IIA-5 で測定した，それぞれの経過時間での電圧の自然対数（ln）をとり，その値を課題 IIA-5 の解答用紙の一覧表の該当する欄に書き込みなさい。

課題 IIA-8　課題 IIA-7 で求めた値と式(2-5)を使ってグラフを方眼紙上に描き，そのグラ

フから時定数 T を求めなさい。方眼紙を切り取って，解答用紙の該当箇所にのり付けしなさい。

課題 IIA-9　上で求めた時定数 T と課題 IIA-2 で測定した抵抗値 R を使って，直列接続された 4 個のコンデンサー全体の静電容量を求めなさい。

課題 IIA-10　放電開始から放電停止までに取り出された電気エネルギーを計算しなさい。

課題 IIA-11　その電気エネルギーが熱エネルギーに変換されて水を温めたとして, 水の比熱（1 g の水を 1℃ 温めるのに必要なエネルギー）を求めなさい。

課題 IIA-12　理科年表によると水の比熱は約 4.2 J/(g·K) であるが，自分が求めた値がずれて　　いる場合，なぜずれたのか，考えられる原因を解答用紙に書きなさい。

課題 II-B：アボガドロ定数の測定

国際度量衡委員会によって今年 2019 年 5 月からアボガドロ定数は誤差の無い定義値と定められ，他の物理量の測定の基礎となったが，本実験では下記の情報をもとにアボガドロ定数を実験的に求める。

つまり，コンデンサーに蓄えられた電荷によって水の電気分解を起こし，その結果発生した気体の体積と使われた電荷の量からアボガドロ定数を求める。

アボガドロ定数とは，１モルに含まれる原子または分子の数である。１モルの気体は，標準状態（0 ℃，1 気圧）で 22.4 L（リットル）の体積をもつ。また，気体の体積 V と圧力 P の積は絶対温度 T に比例する（ボイル=シャルルの法則）：

$$P \cdot V \propto T \qquad \text{....(2-7)}$$

なお, 試験会場での大気圧は試験のはじめに示される。気温，水温が必要なら与えられた温度計で測定しなさい。

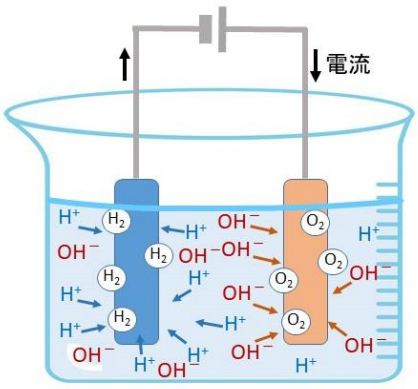

図 2-7. 水の電気分解の模式図

必要なら以下の定数を用いてよい。

・素電荷 e=1.602×10^{-19} C（クーロン）

・1 気圧＝1013.25 hPa（ヘクトパスカル）

　　＝1.01325×10^{5} N/m^{2}（ニュートン毎平方メートル）

・温度 0 ℃＝273.15 K（ケルビン）

【水の電気分解】

水中では，水分子はある割合で

$$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^- \quad \text{....(2-8)}$$

のように電離している。そこに図 2-7 のように電極を入れて電圧を印加すると，正極にOH^-イオンが引き付けられ，負極にH^+イオンが引き付けられ，

$$\text{正極} \quad 4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^- \quad \text{.....(2-9)}$$

$$\text{負極} \quad 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2 \quad \text{....(2-10)}$$

の反応が起こる。本実験では，水の電気抵抗を下げて電流を流れやすくするために炭酸ナトリウム（Na_2CO_3）の薄い水溶液を使用するが，基本的には上記の式で表される水の電気分解が起こっていると考えてよい。

式(2-10)からわかるように，電子２個で水素分子１個ができる。この実験では，コンデンサーの負極側につないだ電極から発生する水素ガスを捕集して体積を測定する。

コンデンサーから放電した電荷量が分かれば，その電荷量を素電荷（電子１個の電荷）で割り算すれば，コンデンサーから流れ出た電子の個数が分かる。そうすれば，発生した水素分子の個数がわかり，その体積から１モルの分子の個数，つまりアボガドロ定数を求めることができる。

課題 IIB-1　実験 IIA（水の比熱）の実験と同じように，コンデンサー4 個を直列に接続し，水の電気分解を行う回路図を解答用紙に描きなさい。その際，コンデンサーの正極と負極の区別が分かるように書きなさい。プラスチックカップ内の電極（銅線とステンレス板）についても，どちらを正極と負極したか分かるように描きなさい。

課題 IIB-2　水の電気分解に使われた電荷 Q_{total} を求めるには何をどのように測り，結果をどのように利用するか計算方法を含めて解答用紙に書きなさい。

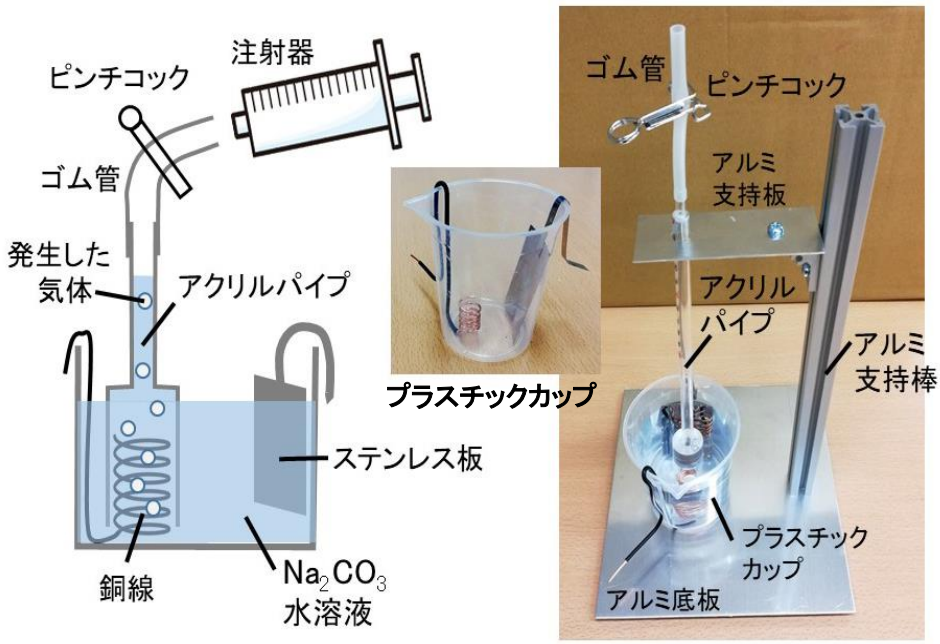

図 2-8. 電気分解実験の装置（左端：組み立てた実験装置の概念図、中央：プラスチックカップへ電極を差し込んだ写真、右端：組み立てた装置の写真)。アルミ支持棒，アルミ底板，アルミ支持板をねじ止めする。プラスチック容器に炭酸ナトリウム（Na_2CO_3）水溶液を適量入れ，らせん状銅線とステンレス板を入れて電極とする。電気分解で発生する気体を捕集するために，らせん状銅線電極にアクリルパイプをかぶせる。注射器をゴム管につなぎ，Na_2CO_3 水溶液を吸い上げ、液面がアクリルパイプについている目盛の上端近くまで吸い上げてピンチコックを閉める。

●実験

1) はじめに，図 2-8 の右側の写真に示すように，アルミ底板の上に支持棒と支持板を固定する。固定にはビニール袋Ⓑに入っているサラネジとナベネジとナットを使う。
2) 次に，図 2-8 の中央の写真のように，プラスチックカップ（半透明）にらせん状の銅線とステンレス板を電極とし入れ, そこに炭酸ナトリウム（Na_2CO_3）水溶液を適量入れる。電気分解によって，らせん状銅線電極側で発生した気体を捕集するため，アクリルパイプをかぶせる。それを上記のアルミ支持板の穴に通して固定する。
3) アクリルパイプの上部に接続してあるゴム管に注射器（シリンジ）をつなぎ，水溶液の水面をアクリルパイプについている目盛の上端近くまで吸い上げてピンチコックを閉め，注射器をはずす。この状態で電気分解を起こせば，発生した気体によってアクリルパイプ内の水面が下がっていき，水面の移動距離から発生した気体の体積を求めることができる。目盛部分のアクリルパイプの内径（直径）は 6.0 mm である。

4) コンデンサーの充電と放電は，実験 II-A（水の比熱）と同じように行う。つまり，充電時には，ブレッドボード上で 4 個のコンデンサーを並列につないで充電し（図 2.5(c)），コンデンサーの電圧が約 2.8 V になったら充電を停止する。次にブレッドボード上で，4 個のコンデンサーを直列に接続し（図 2.5(d)），その両端を電気分解の容器の電極に接続する。

課題 IIB-3　実際に実験し，水の電気分解に使われた電荷 Q_{total} を求めるための測定項目名と測定結果，そして電荷 Q_{total} を解答用紙に記述しなさい。

課題 IIB-4　電気分解で使われた電荷 Q_{total} から，電気分解で生成されてアクリルパイプで捕集された水素分子の総数を求める方法を示し，総分子数を計算しなさい。

課題 IIB-5　生成された気体分子の物質量は何モルか，計算方法を示してモル数を求めなさい。

課題 IIB-6　以上の結果をもとにして，アボガドロ定数（1 モルに含まれる分子数）を求める方法を記し，アボガドロ定数の値を，途中の計算を含めて示しなさい。

課題 IIB-7　アボガドロ定数の定義値は $6.02214076\times10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1}$ であるが，自分が求めた値がこの値からずれている場合，何故ずれたのか，考えられる原因を解答用紙に書きなさい。

JPhO
JAPAN PHYSICS
OLYMPIAD