

事例3 生徒実験「コンデンサーの充電・放電」

1 ねらい

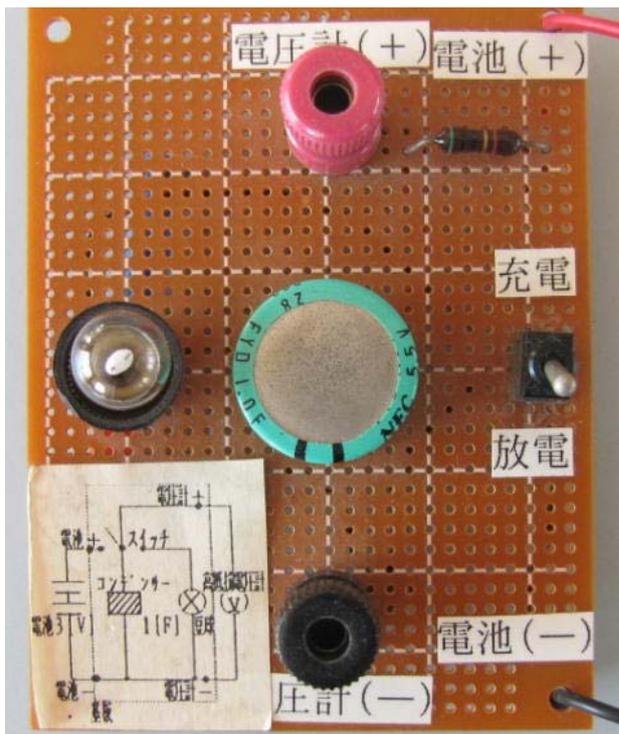
コンデンサーの充電および放電を通じて、コンデンサーのしくみや充放電の様子について理解を深める。

2 準備

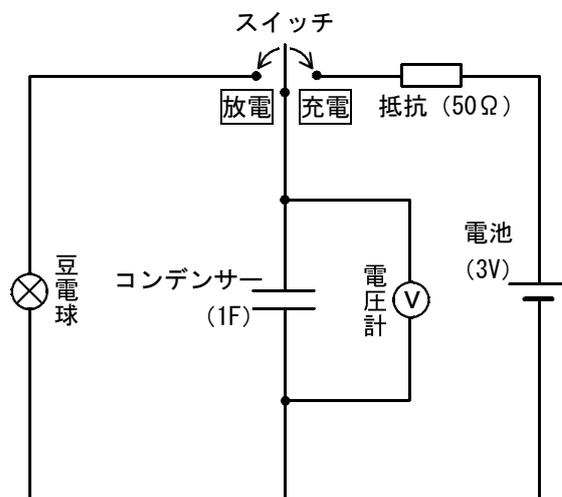
コンデンサーの充電・放電回路（図1を参照）、デジタルテスター、電池（3V）、リード線、ストップウォッチ

3 手順

○実験装置



【図1 コンデンサーの充電・放電回路（写真）】



【図2 回路図】

《実験①》コンデンサーの充電曲線を求める。

- (1) 回路のスイッチを「放電」側にし、電池（3V）を付ける。
- (2) テスターのダイヤルを「DCV（直流電圧）」にして、回路中の「電圧計」の端子につなぐ。このとき、テスターが0Vを指すことを確認したら、スイッチを「充電」側へ切り替える。コンデンサーへの充電が始まるので、同時にストップウォッチをスタートさせる。10秒ごとに、テスターの値を測定し、表に記入する。



【図3 実験の様子】

- (3) 充電時には、コンデンサーと抵抗にかかる電圧の合計が3Vになることを考慮して、(2)で作った表から抵抗の両端にかかる電圧・電流を計算する。横軸に経過時間、縦軸にコンデンサーにかかる電圧をとり、グラフ①を描く。また、横軸に経過時間、縦軸に抵抗に流れる電流をとり、グラフ②を描く。
- (4) (3)で作成したグラフ②（I-t図）の面積から、コンデンサーに蓄えられた電荷 Q を見積もり、理論値 $Q_T = CV$ と比較する。
- (5) 最後に「放電」側にスイッチを切り替え、蓄えた電気で豆電球が点くか確かめる。

《実験②》コンデンサーの放電曲線を求める。

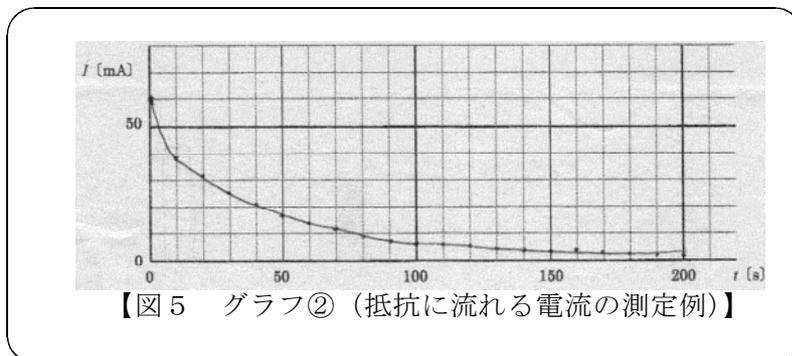
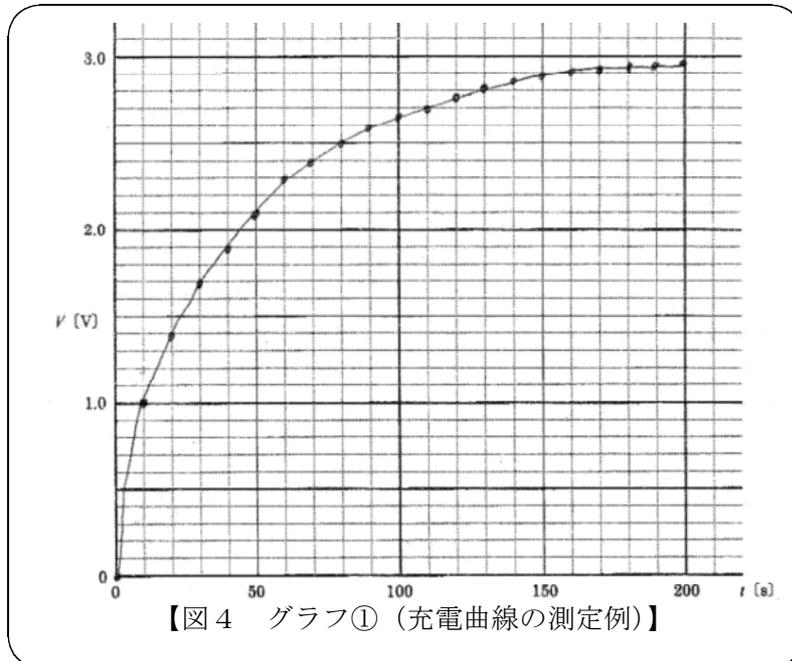
- (1) 放電曲線の予想図を描き、その理由を書く。
- (2) 《実験①》で使った回路を用い、あらかじめ十分な時間（3分以上）をかけてコンデンサーを充電しておく。テスターの値が3V程度で安定したのを確かめてから、回路を「放電」側にして測定を開始する。10秒ごとにテスターの値を表に記入する。その後、横軸に経過時間、縦軸にコンデンサーにかかる電圧をとり、グラフ③を描く。

4 結果

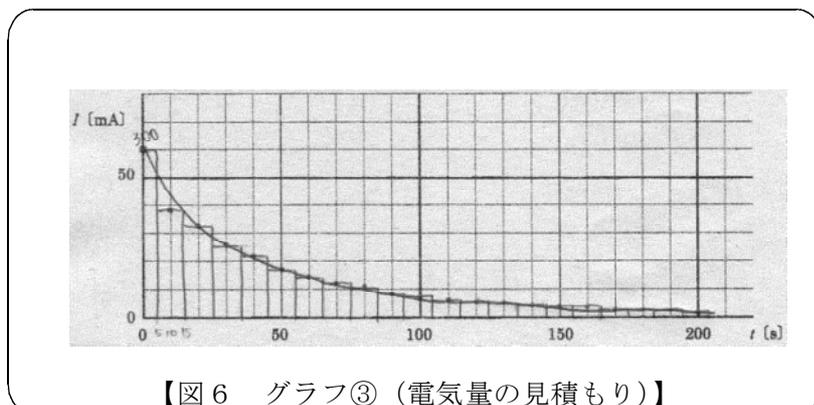
《実験①》コンデンサーの充電曲線

(1) 充電曲線

生徒の描いたグラフ①の例を図4に、グラフ②の例を図5に、それぞれ示す。なお、グラフ②では、 $t=0$ における値は理論値として計算される60mAをプロットした。



(2) 図6は、グラフ②の結果からコンデンサーに蓄えられた電気量を見積もる方法を示している。グラフを10秒ごとの短冊に区切って、205秒間について短冊の面積の和を計算した。ただし、最初の5秒間だけは、理論値60mA×5秒間=300mCとした。



表①【実験データ】

時刻 (秒)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
電流 (mA)	60	39	32	26	21	18	15	12	11	9	7	7	6	5	4	3	3	2	2	2	1

表②【見積もりデータ】

時刻 (秒)	0 ~ 5	5 ~ 15	15 ~ 25	25 ~ 35	35 ~ 45	45 ~ 55	55 ~ 65	65 ~ 75	75 ~ 85	85 ~ 95	95 ~ 105	105 ~ 115	115 ~ 125	125 ~ 135	135 ~ 145	145 ~ 155	155 ~ 165	165 ~ 175	175 ~ 185	185 ~ 195	195 ~ 205	合計
電気量 (mC)	300	390	320	260	210	180	150	120	110	90	70	70	60	50	40	30	30	20	20	20	10	2550

このようにして22名（10グループ）で、それぞれ電気量を見積もった結果が以下の表である。二つのグループが電池のつなぎ方を間違えてしまい、大きな誤差を生んだ。それ以外のグループは2600mC程度の値になったが、理論値3000mCよりもは小さめの値になってしまった。その原因としては、次のようなことが考えられる。

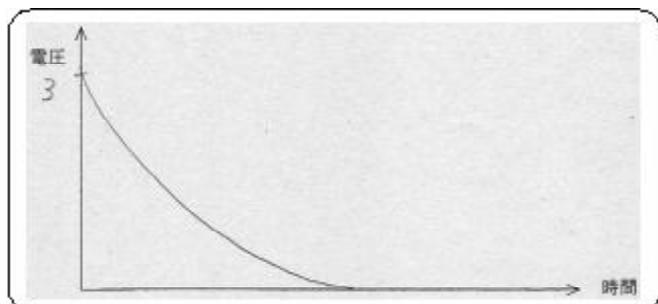
テスターの示す値が時々刻々と変化するため、少しタイミングが遅れるだけでコンデンサーにかかる電圧Vが、実際の値よりも大きめで読まれてしまう。その結果、抵抗にかかる電圧が小さめの値として計算され、電流および電気量も小さめの値になってしまう。

特に、初めの数十秒間に流れる電流が、充電される電気量の値を大きく左右するが、このときのテスターが示す値の変動が大きく、読み取り誤差も大きくなってしまう。誤差を減らすためには、HOLD機能の付いているテスターを使用するとともに、測定タイミングを慎重にすることが重要である。

	見積もり値 [mC]	理論値との誤差(%)	備考
第1グループ	2765	7.8	
第2グループ	2550	15	
第3グループ	2622	12.6	
第4グループ	2684	10.5	
第5グループ	2479	17	
第6グループ	805	?	電池が1.5Vだった。
第7グループ	2639	12.3	
第8グループ	2490	17	
第9グループ	1834	39	
第10グループ	?	?	うまく測定ができなかった。

《実験②》：コンデンサーの放電曲線

(1) 生徒の予想した放電曲線の例から3種類について、グラフと特徴およびその理由を示す。いずれも時間とともに電圧が減少していくという点では共通であるが、その減り方に特徴がある。



【予想① (15人中5人)】

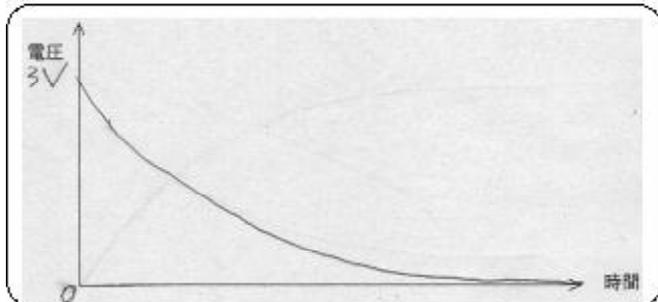
<特徴>

・時間経過とともに電圧が0になる。

<理由>

・一気に電流が流れるから。

・なんとなく



【予想② (15人中5人)】

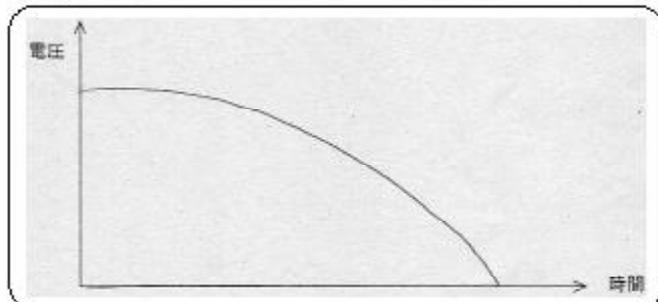
<特徴>

・①と似ているが、電圧が0にならない。

<理由②>

・充電の反対だから。

・充電のグラフと逆な気がする。



【予想③ (15人中3人)】

<特徴>

・電圧がゆっくり減り始める。

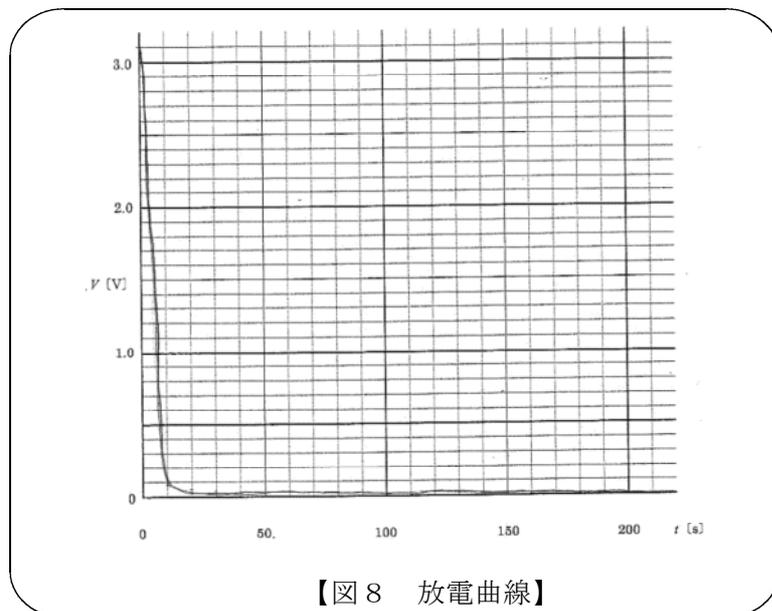
<理由>

・充電曲線と逆っぽいから。

・ゆっくり放電する気がする。

【図7 生徒が予想した放電曲線の例】

(2) 放電曲線のグラフ例を以下に示す。急激に電圧が減少する様子がよくうかがえる。



【図8 放電曲線】

(3) 生徒の感想等（抜粋）

《実験①》コンデンサーの充電曲線

- ・時間がたつにつれて電圧が下がるスピードが遅くなることが分かった。
- ・意外ときれいなグラフができてビックリ。
- ・コンデンサーを間近で見られてうれしかった。
- ・豆電球が光った。コンデンサーはすごい！

《実験②》コンデンサーの放電曲線

- ・充電も放電も初めは変化が大きくてびっくりです。
- ・思ったより急激に減った。

5 この事例のポイント

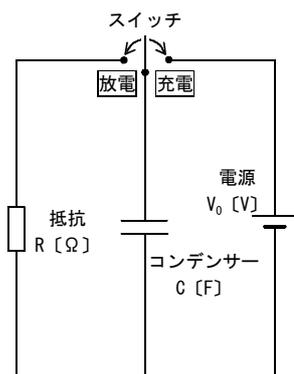
現行の課程では、数学でも微分方程式を扱わないため、充電曲線・放電曲線を理論的に導くのは困難かもしれない。しかし、それだからこそ、定性的な考察によってこれらを予想し、実験で確かめるといった手法が生かされる。今回の事例では、充電曲線について調べたことを踏まえて、放電時の電圧変化を予想させ、そう考えた理由を書かせているが、「予想を立てさせた上でその理由を書かせる場面を設ける」ことで、言語活動の充実を図っている。今回の事例研究では、〈理由〉の部分であまり踏み込んだ意見が見られなかった。より踏み込んだ理由を書くよう指導していくことが、今後の課題である。例えば、各瞬間における電圧と、コンデンサーが蓄えている電気量や回路を流れる電流の関係について考察させる場面を設けることや、実際に放電曲線を調べた結果を踏まえて、生徒の予想よりも早い時間で電圧が0Vに近づく理由について考察させることなどが考えられる。

より発展的な学習を望む生徒に対しては、実際に微分方程式を解いて、指数関数のグラフになることを示すことは、理解の深化を図る上で有効であると考えられる。

6 放電曲線について（参考）

図9のようなコンデンサー（C [F]）、電気抵抗（R [Ω]）、電源（V₀ [V]）と切り替えスイッチからなる回路を考える。今、十分な時間をかけてコンデンサーを充電し、コンデンサーの両端にかかる電位差を電源と同じにした後、スイッチを切り替えて放電を開始する。このとき、以下の3つの数式が成り立つ。

- ・コンデンサーにたくわえられる電荷 $Q = C V \dots\dots\dots ①$
- ・抵抗を流れる電流 $I = -\frac{dQ}{dt} \dots\dots ②$
- ・オームの法則 $V = R I \dots\dots\dots ③$



【図9】

①式の両辺を時間で微分して、②、③式を代入すると、

$$-I = C \cdot R \frac{dI}{dt}$$

これを整理すると、

$$-\frac{1}{RC} = \frac{1}{I} \cdot \frac{dI}{dt}$$

したがって、流れる電流 I は、 $I = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$ （ただし、 $I_0 = \frac{V_0}{R}$ ）

これと③式より、放電時にコンデンサーの両端にかかる電圧 V の時間変化は、

$$V = V_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{となることが分かる。}$$

7 実験プリント（次ページ）

<目的>

コンデンサーを含む回路で、コンデンサーが充電される様子を観察し、コンデンサーの原理を確認する。

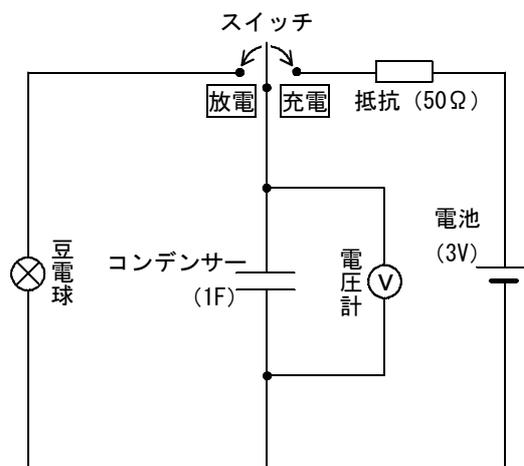
<準備>

デジタルテスター、電池 (3V)、リード線、ストップウォッチ、電卓等

<実験>

手順 1 : 回路の準備

- ① 回路のスイッチを **放電** 側にしておき、電池ボックス (3V) を接続する。
- ② デジタルテスターを「DCV (直流電圧)」にして、回路につなぎ、スイッチを **充電** 側へ！ストップウォッチもスイッチ ON！コンデンサーへの充電が始まります。



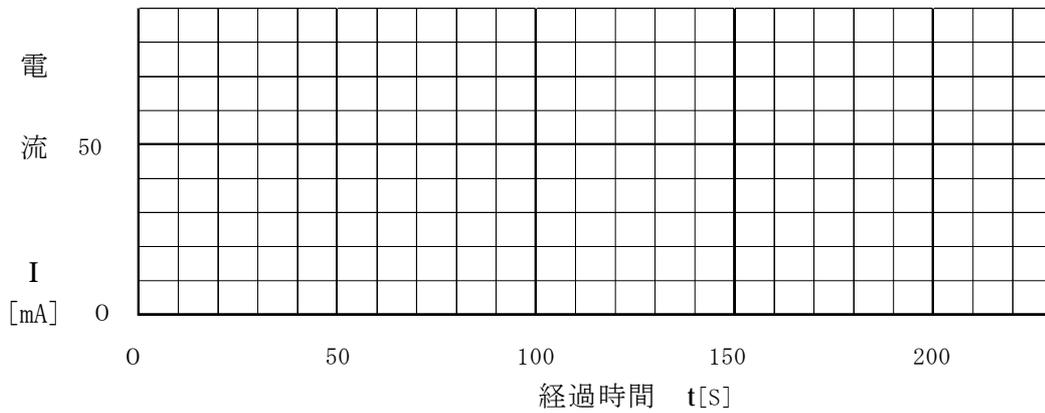
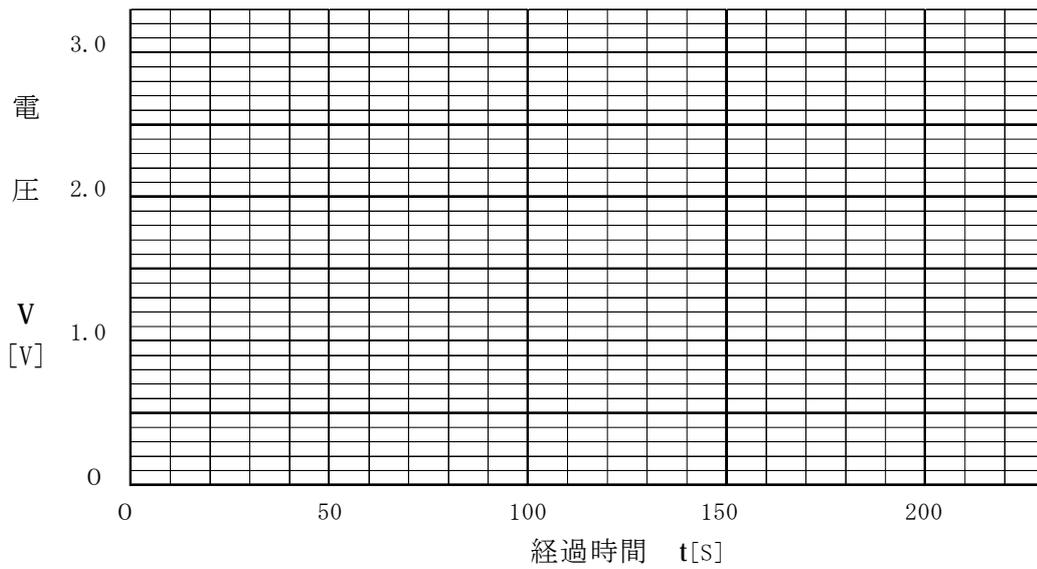
手順 2 : 測定開始

- ③ スイッチを入れてから10秒ごとに、コンデンサーの両端にかかる電圧 (テスターの数値) を測定し、表に記入する。200秒を目安に測定を続ける。
- ④ コンデンサーCと抵抗Rにかかる電圧の合計が電池の3Vになることを考慮すれば、抵抗の両端にかかる電圧、さらには電流を求めることができる。表に記入しよう。

時刻 (秒)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
C 電圧 [mV]										
R 電圧 [mV]										
電 流 [mA]										

時刻 (秒)	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
C 電圧 [mV]										
R 電圧 [mV]										
電 流 [mA]										

<結果> データ処理:横軸に時間(秒), 縦軸に電圧(上), 電流(下)をとって, グラフを作成する。



<考察とまとめ>

- ① 電流 I と時間 t の関係から電荷 Q を求め, 理論値 ($Q = CV$) と比較してみよう。

- ② 誤差を計算し, その理由を考えよう。

- ③ コンデンサーの電気容量の大小がグラフに関係するかどうか考えよう。

<目的>

コンデンサーを含む回路で、コンデンサーが放電される様子を観察し、コンデンサーの原理を確認する。

<準備>

デジタルテスター、電池 (3V)、リード線、ストップウォッチ、電卓

<実験>

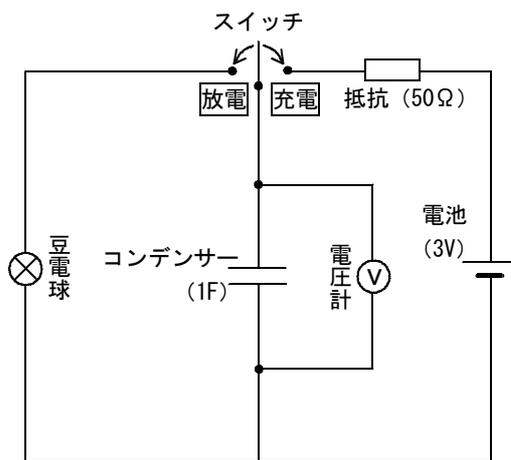
手順0：充電曲線を参考にして、横軸に時間、縦軸に電圧をとり、放電時の電圧と時間の関係を示すグラフがどのような形になるか予測して描いてみよう。なぜそのような形にしたか、理由も書いてみよう。



理由：

手順1：まずは充電

- ① 回路のスイッチを **放電** 側にしておき、電池ボックス (3V) を直列に接続する。
- ② デジタルテスターを「DCV (直流電圧)」にして、回路につきなごスイッチを **充電** 側へ！
ストップウォッチもスイッチON！コンデンサーへの充電が始まります。
- ③ 3分以上たって、テスターが約3Vで一定の値を示すようになったら充電完了。このときの電圧を表の0秒のところに記入する。



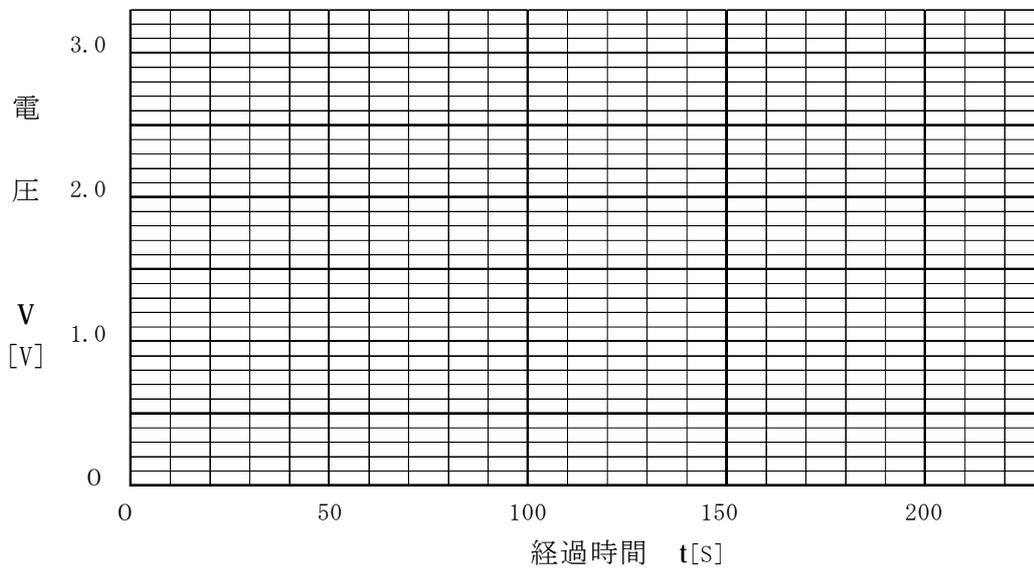
手順2：放電しながら測定開始

- ① 回路のスイッチを「放電」側にしてから10秒ごとに、コンデンサーの両端にかかる電圧（テスターの数値）を測定し、表に記入する。200秒を目安に測定を続ける。

時刻 (秒)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
電圧 V[V]										

時刻 (秒)	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
電圧 V[V]										

<結果> データ処理:横軸に時間 (秒), 縦軸に電圧をとって, グラフを作成する。



<考察とまとめ>

- ① グラフの形がなぜそのようになるのか, 自分の予測と比較して考えてよう。
- ② コンデンサーの電気容量の大小がグラフに關係するかどうか考えよう。