

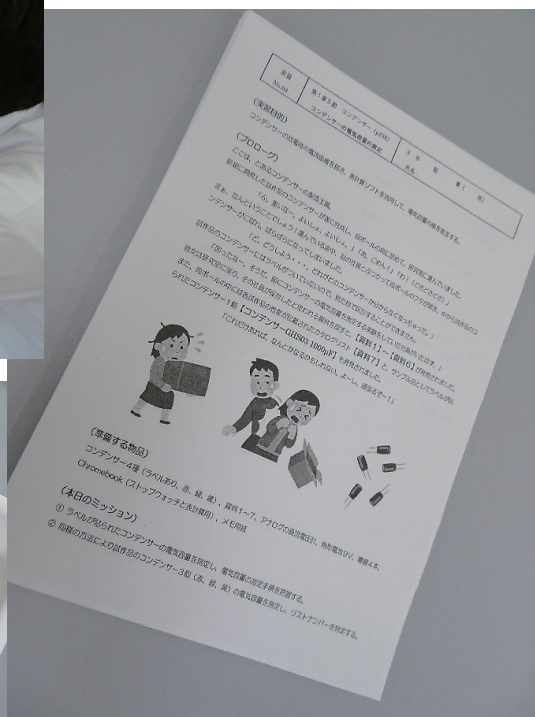
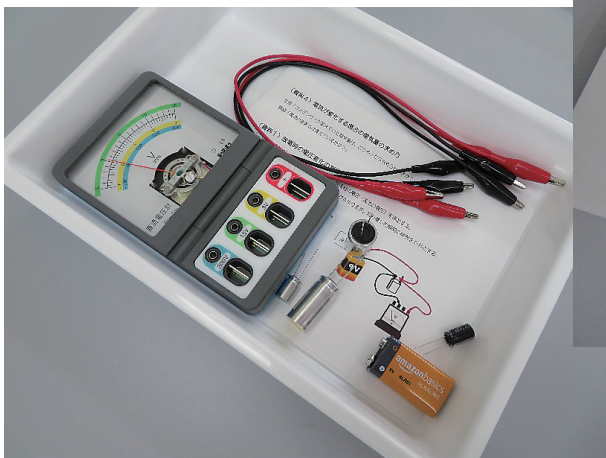
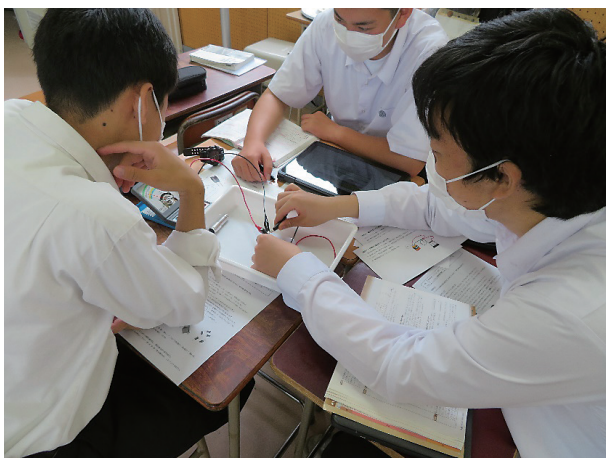
# サイエンスネット

物(化)生(地)...

数研出版株式会社

CIENCE NET

Contents	▶ 特集 1 / 茂木孝浩 …2	▶ 特集 3 / 松本 崇 …10
	▶ 特集 2 / 森 彰吾 …6	▶ コラム / 数研出版 編集部 …14



実験に取り組む生徒たちの姿と実験に使用する道具一式

群馬県立伊勢崎高等学校 茂木孝浩

従来型の実験「コンデンサーの電気容量測定」に探究的なアレンジを加え、生徒実験として実践した。実験デザインを検討する際、株式会社SCRAPが手掛けるリアル脱出ゲーム風の要素を織り交ぜ、「資料を読む力」「複数の資料を比較する力」「協働して取り組む力」などを発揮して実験の進め方を理解していく形式を考案した。1回目の授業実践の結果や、理化学部会の研修会の際にいただいた助言などを踏まえ、実験時の設定条件や配布資料を改訂して、2回目の授業実践を行った。以降のページでは、工夫を凝らした実験デザインとその実践結果を紹介したい。

# 探究的なコンデンサーの電気容量測定

リアル脱出ゲーム「物理実験室からの脱出」

群馬県立伊勢崎高等学校教諭 茂木孝浩

## 1. はじめに

平成 30 年告示の高等学校学習指導要領解説(理科編)によれば、高等学校における「理科の見方・考え方」については、「自然の事物・現象を、質的・量的な関係や時間的・空間的な関係などの科学的な視点で捉え、比較したり、関係付けたりするなどの科学的に探究する方法を用いて考えること」とされ、理科の学習における探究的アプローチの重要性はより一層高まっている。中でも近年は、従来の理科の実験授業に探究的な視点・工夫を取り入れたり、探究実験として構築し直したりする取り組みが盛んに行われてきている。

今回取り上げるのは、従来の「コンデンサーの電気容量測定」を探究的にアレンジした実験である。数研出版の教科書「物理」に掲載されている実験<sup>1)</sup>をベースに、ワクワク感を引き出す秘策として、株式会社 SCRAP が手掛けるリアル脱出ゲーム風の要素を織り交ぜた。余談だが、先日行われた本校の文化祭「蒼穹祭」のクラス企画の中にも脱出ゲームが多く取り上げられていて、高校生の心に響く要素としては申し分ないと思われる。資料を読み、理解し、比較し、判断しながら制限時間内に問題の解決(電気容量の測定)を目指す。

生徒の自己調整能力に期待し、教員は授業中に各班の手助けや誤りの指摘をしない。つまり、生徒が電気容量の測定に成功するか否か、あるいは生徒が期待する能力を発揮して実験を遂行するか否かは、実験時の配付資料の出来に大きく左右される。本報告は、当初考案した実験デザイン(案 1)と実践した結果、改善した実験デザイン(案 2、案 3)と実践した結果を紹介するものである。

## 2. 育成したい生徒の能力

(1) 資料を読む力

(2) 複数の資料を比較する力

大学入試共通テストの近年の傾向を踏まえ、測定に関する指示は一切せず、配付資料を読む形にした。配付資料は複数の資料に分割し、各資料の使い方や

組み合わせ方、使うタイミングを生徒の思考・判断に委ねた。

(3) Chromebook を活用してデータ処理する力

教科横断的な学力の発揮を意図して、測定値の計算に表計算ソフトを使う方法を配付資料に加えた。

(4) 協働して取り組む力

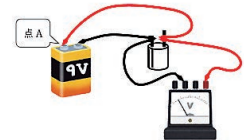
配付されたコンデンサーはカタログリストのどれなのか、という単純明快な目標を提示し、目標達成に向けた主体的・協働的な活動を促した。

## 3. 当初の実験デザイン(案 1)と実践報告

各班には物語のプロローグが書かれた実験レポート(結果報告用紙)と実験装置一式とともに、資料 1～7(図 1～3 参照)が配付された。今回測定するコンデンサーは、基準となる既知の  $1000\mu\text{F}$  以外に、赤( $3300\mu\text{F}$ )、黄( $2200\mu\text{F}$ )、緑( $470\mu\text{F}$ )の 3 種類。これを授業時間の 50 分以内に特定することが求められる。資料 1 と資料 2 を組み合わせると電圧変化を測定する実験方法がわかり、資料 3 を読むと電圧から電流が求められ、資料 4 と資料 5 を組み合わせると電流曲線から電気量を導く概念がわかり、資料 6 を読むと具体的な計算方法がわかる。

### (資料 1) 放電時の電圧変化の測定方法

- ① 図のような回路を組み、コンデンサーを充電し、充電時の電圧(電池の電圧)を測定する。
- ② 図の点 A を切断し電池が切り離されると、放電が始まります。切り離した瞬間の時刻を 0 秒とする。
- ③ 10 秒ごとに電圧計の値を読み、記録する。
- ④ 電圧計の値がほぼ 0 になったら、測定を終了する。  
(だんだん減少ペースが遅くなってくるので粘り強く!)



### (資料 2) 電解コンデンサーの極性に注意!

一般的電解コンデンサーには「極性」があり、長いリード線が「正」、短いリード線が「負」である。

短いリード線：負

電池の負極・  
電圧計の一端子とつなぐ



長いリード線：正

電池の正極・  
電圧計の+端子とつなぐ

図 1 実験時の資料 1～2

**(資料3) 電圧計を用いて電流を測定する方法**

電圧計の基本構造は〔ア〕と同じであり、オームの法則に従い、流れる電流に〔イ〕を掛け、電圧に変換している。逆に電圧を〔イ〕で割ると、流れる電流を導くことができる。内部抵抗の値は、テスターを用いると簡単に計測できる。一般的なアナログの直読電圧計で測定範囲 15V の場合、内部抵抗の値は以下の3種類が確認されている。

① 10kΩ ② 15kΩ ③ 20kΩ

**(資料4) 電流が変化する場合の電流量 Q の求め方**

生徒「コンデンサーが蓄えていた電流量は、どうやって求められますか？」  
 教員「電流の定義式は覚えてるかな？」  
 生徒「... ずいません、どの式でしょうか。」  
 教員「電流の単位 [A] を別の単位で置き換えると、[C/s] だよな。」  
 生徒「はい、... そうか！ということは、電流 I = [ア] ですね。」  
 教員「つまりは、電流量 Q = [イ] だね。図1のように縦軸に電流 [A]、横軸に時間 [s] をとると、電流が一定の場合、電流量 Q はオレンジ色の長方形の面積と等しくなるよ。」  
 生徒「先生！コンデンサーの放電では、図2のように電流はだんだん減少していきますよね。」  
 教員「その場合も同じように、変化する電流の横分面積が電流量 Q と等しくなるよ。」

**(資料5) グラフの面積の求め方・概算値**

曲線の積分値を正確に求めることは難しい。そこで、おおよその値である概算値を求める方法（一例）を以下に示す。測定期間 10 秒ごとの電流の測定値（グラフの●点）を用いて、グラフの上限值と下限値とで囲み、曲線は両者の中央を境切ると近似すると、上限値と下限値のちょうど中間の値が概算値となる。

下限値 = 青いグラフの下の方の長方形の面積の和  
 $= 1\text{e} \times 10 + 1\text{e} \times 10 + 1\text{e} \times 10 + \dots$   
 $= (1\text{e} + 1\text{e} + 1\text{e} + \dots) \times 10$

上限値 = 青いグラフの上の方の長方形の面積の和  
 $= 1\text{e} \times 10 + 1\text{e} \times 10 + 1\text{e} \times 10 + 1\text{e} \times 10 + \dots$   
 $= (1\text{e} + 1\text{e} + 1\text{e} + \dots) \times 10$

**(資料6) スプレッドシートの使い方**

1) 電圧計を流れる電流 [A] → 電圧計の電圧 [V] → 電圧計の内部抵抗値 [Ω]  
 2) 上限値 [C] 及び下限値 [C] → 資料5参照 ※ sum関数を用いる  
 3) 中間値 [C] → 上限値と下限値の中間の値 ※ average関数を用いる  
 4) 電流量 [μF] → 電流量・中間値 [C] ÷ 初期電圧 C3 [V] × 10<sup>6</sup>

図2 実験時の資料3～6

**(資料7) 試作品の性能が記載されたコンデンサーのカタログリスト**

List.No.	製造番号	電容量 [μF]	耐電圧 [V]	価格 [円]	備
1	THS01-01A	470	35V	¥40	
2	THS01-02A	650	35V	¥80	
3	THS01-03A	820	25V	¥130	
4	THS01-04A	1900	25V	¥30	
5	THS01-05A	1500	25V	¥50	
6	THS01-06A	2200	35V	¥50	
7	THS01-07A	2700	35V	¥80	
8	THS01-08A	3300	35V	¥80	
9	THS01-09A	4000	25V	¥100	
10	THS01-10A	4700	16V	¥100	
11	THS01-11A	6000	16V	¥100	

図3 実験時の資料7

2022年9月3日(土)の課外の際、前任校である群馬県立富岡高等学校3年の物理選択者計50名(17班)が本実験に挑戦した。結果は次のとおり。

特定失敗	1個特定	2個特定	3個特定
14班	2班	1班	

残念ながら3個特定し、ミッションをクリアした班は1班もなかった。参加した生徒から「悔しい」という感想が得られたので、翌週9月10日(土)の課外の際に、計49名(16班)がリベンジマッチに挑戦した。結果は次のとおり。

特定失敗	1個特定	2個特定	3個特定
5班	4班	3班	4班

結果として3個特定に成功した班は4班あるが、時間内にきちんと報告をしてミッションをクリアした班は2班だけだった。

### 4. 改善した実験デザイン(案2)と試行

元々の計算過程が複雑なので、できる限り丁寧な説明文を用意したつもりだったが、全体的に難易度が高くなり過ぎた。配付資料の記述を中心に見直し、以下の変更を加えた。

#### (1) 資料5の差し替え

グラフの面積(曲線の積分値)の求め方で採用した下限値、上限値、中間値の考え方が生徒に伝わりにくかった。下限値というワードをネット検索する生徒も見られ、コンデンサー分野の専門用語と誤認しやすい表現だった。そこで、計算の手数は増えるが理解しやすい「台形の総和」方式に切り替え、新たな資料5(次ページ図4)を作成した。

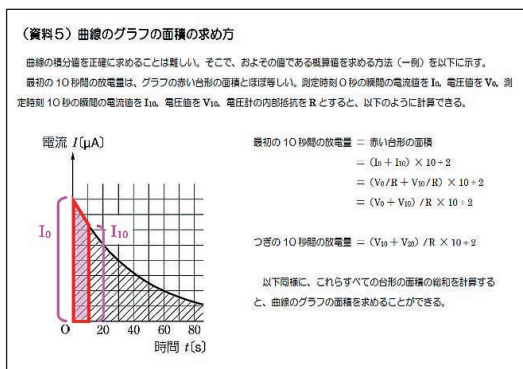


図4 差し替えた資料5

## (2)資料6の差し替え

表計算ソフトの数式・関数の使い方があまり定着していなかった。育成したい生徒の能力を欲張りすぎた感もあり、(3)Chromebook を活用してデータ処理する力を一旦棚上げすることにした。代わりに電気量から電気容量を求める新たな資料6(図5)を作成した。

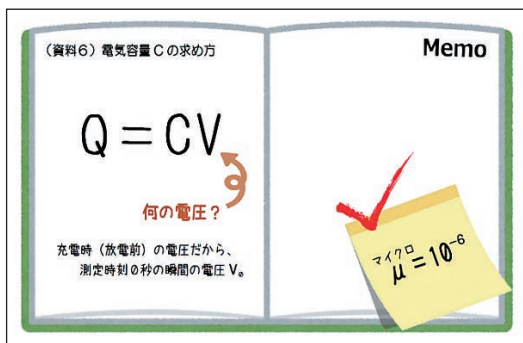


図5 差し替えた資料6

2022年12月27日(火)理化学部会東部地区主催研修会の際、参加した物理・化学の教員計8名(3班)が本実験に挑戦した。結果は次のとおり。

特定失敗	1個特定	2個特定	3個特定
		2班	1班

全班が3個の特定に成功すると思っていたが、2班が赤(3300 $\mu$ F)のコンデンサーの電気容量を1段階小さい2700 $\mu$ Fと判定した。測定値は3班とも3000 $\mu$ F近傍だったことから、コンデンサーのラベルに表示された3300 $\mu$ Fという値が信頼できない可能性(初期の仕様の可能性が劣化の可能性)が指摘された。

## 5. 各コンデンサーの正確な電気容量

研修会での指摘を受けて、実験に使用するコンデンサーの電気容量をすべて測定し直すことにした。測定は今回の実験と同じ放電曲線による測定方法と簡易なテストを使う方法の2種類を併用し、テストはsanwaのデジタルマルチメータPC700を使用した。1000 $\mu$ Fコンデンサーの測定結果を図6に示す。放電曲線による測定値は概ね1000 $\mu$ F近傍に分布したが、テスト値はそれより5~7%程度小さい値に集中した。テストの画面表示の値が安定しないこともあり、信頼できないのはテスト値の方と思われる。因みに、テストの測定誤差は6000 $\mu$ Fのとき $\pm(5.0\% \text{ rdg} + 5 \text{ dgt})$ である。

放電曲線による測定値を信頼すると、測定した12個中2個は明らかに電気容量が減少していた。こちらは劣化の可能性が高い。資料2で生徒に注意喚起してはいるが、逆電圧をかけてしまうケースは少なくない。劣化が進むと、図7のように内部が膨張している様子が目視できるものも見られた。劣化したコンデンサーを発見したら、生徒実験前に交換しておきたい。

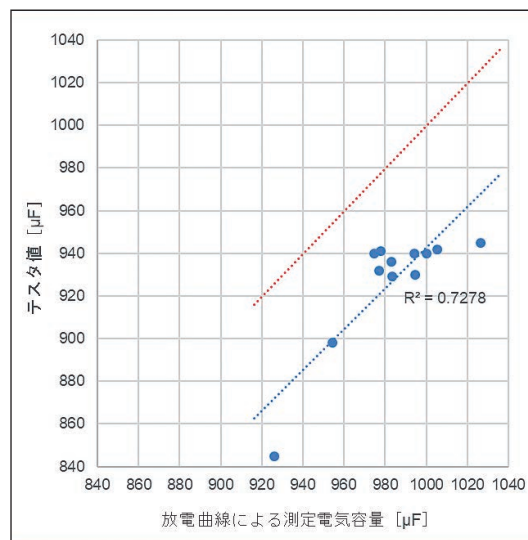


図6 放電曲線による測定値とテスト値の相関(破線は1:1相関を表す線とデータの近似線)

各コンデンサーの放電曲線による測定値の分布を図8に示す。研修会ときに指摘されたとおり、赤の3300 $\mu$ Fコンデンサーだけがラベルに表示された値と一致しない。今回はカタログリストの数値(資料7)を調整し、対応することにした。

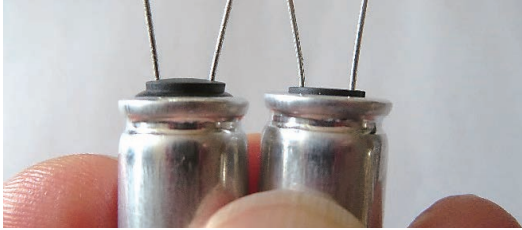


図7 劣化した電解コンデンサー(左)と正常品(右)の比較

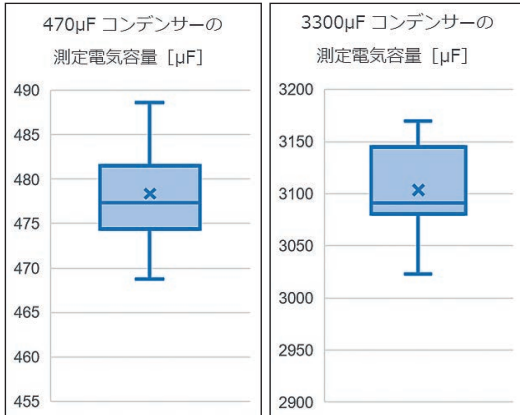


図8 各コンデンサー 10個の測定値の分布(抜粋)

## 6. 最新の実験デザイン(案3)と実践報告

### (1) 差し替え前の資料6の再導入

前述の研修会の際、「やはり表計算ソフトに誘導する仕掛けはある方が良い」「電圧の減少曲線が書けると感動する」という意見をいただき、差し替え前の資料6を「台形の総和」方式に書き替え、再導入した。それに伴い、資料は計8枚になった。

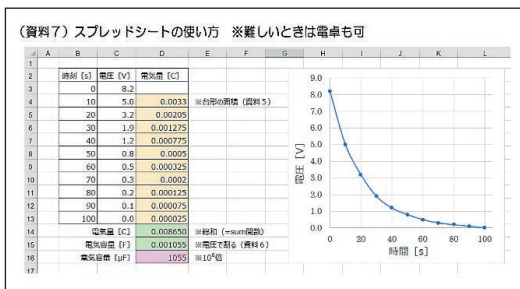


図9 再導入した資料7(カタログリストは資料7→資料8)

### (2) 測定するコンデンサーを2個に減らす

生徒の行動を観察していると、「資料を読む力不足」による迷走も多く見られた。生徒の感想にも、読むことの大切さが比較的多く語られていた。限られた時間内で可能な限り資料を読む時間や計算方法などを検討する時間を確保することを優先し、測定

するコンデンサーの数を3個から2個に減らした。

2024年6月6日(木)の授業の際、前任校である群馬県立富岡高等学校3年の物理選択者計61名(15班)が本実験に挑戦した。結果は次のとおり。

特定失敗	1個特定	2個特定
10班	3班	2班

実験デザインを改善したことにより、特定に成功する班の数が増加した。難易度はまだやや高いものの、きちんと取り組めば時間内に電気容量の特定に至ることが確認できた。以下、ふり返りフォームに寄せられた生徒の感想を記す。

「自分が資料を読んだので解釈が間違っていないくてよかった。授業で学んだことを実際に活かせる機会があって楽しかった。」「計算する時間が足りなかったもので、最後まで計算できていればよかったかもしれない。ただ記録をするだけでなく考えないといけないくて、面白かった。」

## 7. 結論

当初設定した育成したい生徒の能力のうち、(1)資料を読む力、(2)複数の資料を比較する力はレポートの感想欄の記述から、(4)協働して取り組む力は実験中の生徒の様子から、概ね発揮されていると判断できる。共通テストは知識・技能とともに問題を正しく読解する力が重要であり、本実験は共通テストに向けた問題演習的な位置づけとしても活用できる可能性が期待できる。

一方、(3)Chromebookを活用してデータ処理する力については、現時点で判断することが難しい。ただ、今回のように手計算が困難なデータ処理に表計算等のツールを活用する経験は重要である。活用経験を積みさせる中で、生徒の情報処理能力の向上を図っていきたい。

### 参考文献

- 1) 國友正和ほか「物理」:数研出版株式会社, pp.252,2022.

※ リアル脱出ゲームは株式会社 SCRAP の登録商標です。