

電流分野において、実験を中心に授業を組み立てるための教材開発

実施担当者 兵庫県立宝塚北高等学校
教諭 大多和 光一

1 はじめに

私は電流の分野で探究的な実験を中心に授業を組み立てることを目指し、そのための教材開発を進めてきたが、今回は特に交流の範囲の実験について開発を進めることができた。

現在の高校生は、電気回路についてイメージをすることが苦手という者が多数いる。そもそも電気回路に触れた経験のある者も少なく、授業で実験を実施しても回路を組むまでに非常に時間がかかってしまい、肝心の実験をする前に授業時間を終えてしまうこともよくある。^{*1*}^{*2} 回路カードを使うと実験時間を大幅に短縮できることがわかり、実験開発を進めてきた。

平成30年度に貴財団から助成をいただき、教科書レベルの実験を行うための実験器具を多数開発することに成功した。特に直流の範囲の実験については、教科書レベルの実験の多くを授業時間内に実施可能になった。（助成をいただいた後実験開発を続け、令和2年度の授業で実施するめどがついていたのだが、新型コロナウイルス感染拡大による休校等のため、開発した実験を一部しか授業内で行うことはできていない。）またこれらの実験は、^{*3}次期学習指導要領で強調されている項目とも合致している。

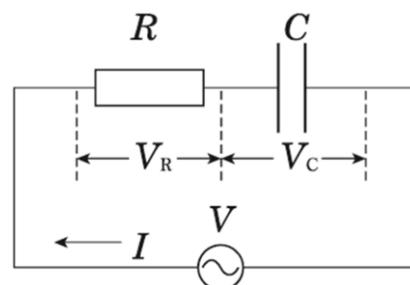
交流の範囲の実験については、実施するために必要な器具が高額なこともあり、前回いただいた助成では開発を進めることができていなかった。

今回の助成で、電圧・周波数可変の^{*4}電源装置を購入することができ、これまでに開発した実験器具と組み合わせ、交流の範囲の生徒実験を開発することができた。

2 開発した実験

2-1 交流回路実験（RC直列回路）

交流回路において、位相の理解を苦手とする者は非常に多い。図のような抵抗とコンデンサーの直列回路において、「抵抗の電圧 V_R とコンデンサーの電圧 V_C の合計（スカラー和）が電源の電圧 V と等しくならない。」ということを理解できない者が大多数である。事前にこの範囲の授業を受けてから実験を行い、自分で値を測定しているにもかかわらず、「電圧の合計が合いません。」と首を傾げる者が多い。（例えば、抵抗の電圧 $V_R=8V$ 、コンデンサーの電圧 $V_C=6V$ のとき、電源の電圧 V は $14V$ ではなく $10V$ となる。）



交流の位相についての理解を深めるためにこの実験を開発し、今年度の授業で実施した。（この実験は兵庫物理サークルの円尾先生が開発した実験を基に、回路カードで実施できるように作り変えた。）

2-1.1 実験の目的

- ・交流ではコンデンサーの両端の電圧と流れる電流の位相が異なることを理解する。特に抵抗の電圧とコンデンサーの電圧の位相が $\pi/2$ ずれていることを理解する。
- ・電流、電圧、リアクタンスの間の関係を理解する。

2-1.2 実験器具

回路カード, *4交流電源, コンデンサー (回路カード用に加工したもの), 抵抗 (回路カード用に加工したもの), デジタルマルチテスター, コンパス, 分度器, 電卓。

*これらの器具の中で交流電源については, 今回の助成で購入した。他のものについては H30 年度にいただいた助成で購入したものである。

2-1.3 実験手順

(1) 抵抗, コンデンサーを交流電源と直列に接続する。

(回路カードを用いると, 写真の様に基板上に素子に乗せるだけで接続でき, 素子の取り換えが簡単にできる。)

(2) 抵抗・コンデンサーを違う値のものに取り換え, 電圧がどのように変化するかを調べる。また同様に周波数も変化させる。ある程度傾向が確認できるまで何パターンか測定する。

(今回購入した電源装置は簡単に周波数が変えられるため, この操作が短時間でできる。)

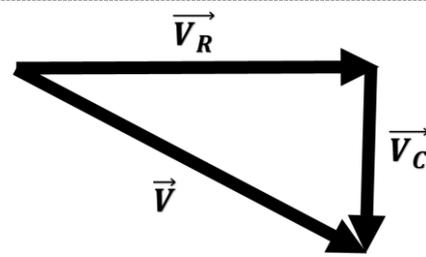
(3) 各素子間の電圧の関係を確かめる。特に, $V = V_R + V_C$ とならないことを確認する。

(この関係を理解できない者が非常に多い。)

(4) (3)の関係を理解するために, コンパス利用して $\vec{V} = \vec{V}_R + \vec{V}_C$ を作図する。

<作図の手順>

- ① \vec{V}_R の矢印を, 原点から水平に描く。
- ② 原点から \vec{V} の長さの円をコンパスで描く。
- ③ \vec{V}_R の矢印の先端から \vec{V}_C の長さの円をコンパスで描く。
- ④ 原点から, ②③の交点まで, \vec{V} の矢印を描く。 \vec{V}_R の矢印の先端から, ②③の交点まで, \vec{V}_C の矢印を描く。



(5) 抵抗とコンデンサーの電圧の位相のずれを, 分度器を利用して図から求める。(90° に近くなることを確認する。)

(6) V_R と V_C の比が, 抵抗とコンデンサーのリアクタンスの比に等しいことから, コンデンサーの電気容量を求める。

2-1.4 実験結果

実験の結果は右図のようになった。(実験の様子は動画を参照:

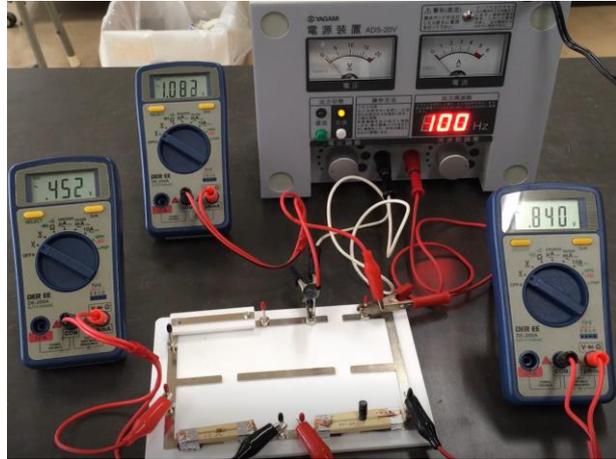
<https://www.youtube.com/watch?v=skZp1qghBi8>)

この動画の様に, 短時間でこのような結果が得られた。

V [V]	V_R [V]	V_C [V]	周波数 [Hz]	抵抗値 [Ω]	電気容量 [μF]
1.088	1.068	0.102	60	300	100
1.087	1.073	0.078	81	300	100
1.087	1.036	0.322	81	300	22
1.087	1.052	0.266	100	300	22
1.088	0.144	1.072	100	10	22
1.088	0.168	1.067	120	10	22

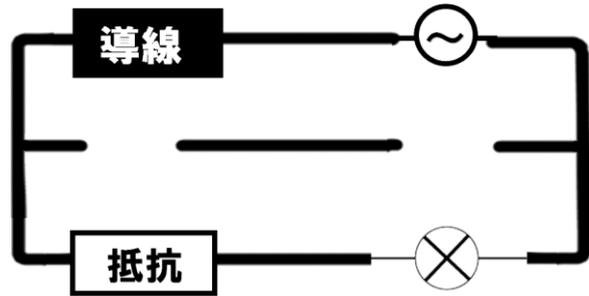
2-2 購入した電源装置と回路カードを組み合わせた実験例

交流回路については, 基本的なイメージをすることさえ難しいと感じる者が大多数なので, 前述の RC 直列回路の実験を行う前に, 以下の様な定性的な実験を行うことも考えられる。(今年度については実施できていない。)



2-2.1 抵抗と豆電球の直列回路

図の様に回路カード上で抵抗と豆電球の直列回路を作り、豆電球が点灯する状況を作る。周波数を変化させて抵抗値が周波数に依存しないことを確認する。



2-2.2 コイルと豆電球の直列回路

2-2.1 の実験の抵抗をコイルに取り換え、コイルと豆電球の直列回路を作る。周波数を変化させて豆電球の明るさの変化から、コイルのリアクタンスが周波数によって変化することを確認する。また、周波数が大きくなるとコイルのリアクタンスが大きくなることを直感的に理解する。

2-2.3 コンデンサーと豆電球の直列回路

2-2.2 の実験のコイルをコンデンサーに取り換え、コンデンサーと豆電球の直列回路を作る。周波数を変化させて豆電球の明るさの変化から、コンデンサーのリアクタンスが周波数によって変化することを確認する。またコイルとは反対に、周波数が大きくなるとのコンデンサーのリアクタンスが小さくなることを直感的に理解する。

2-3 これまで開発した実験と教科書の関係

以下の様に^{*5}教科書の内容の多くを、回路カードを用いた実験として行うことが可能となった。また、これらの実験についての解説作成を Web 及び YouTube 動画を活用して進めて行っている。(以下の表の QR コード参照。)今回開発した実験についても、解説を作っていきたいと考えている。

2-3.1 前回の助成で開発した実験

前回の助成をいただいた後も継続的に実験開発を続け、以下の①～⑦の様な実験ができるようになった。また、実験を普及するために Web 及び YouTube 動画に実験の解説を作った。

- ① コンデンサーの直列接続・並列接続 (p.136)
- ② オームの法則 (p.143)
- ③ 抵抗の接続 (p.150)
- ④ 電池の起電力と内部抵抗 (p.158)
- ⑤ ホイートストンブリッジ (p.159)
- ⑥ 非直線抵抗 (p.161)
- ⑦ コイルに蓄えられるエネルギー (p.204)

2-3.2 今回の助成で開発した実験

前回の助成では開発できなかった交流の分野の実験について以下の⑧～⑪の様な実験を開発した。また⑩の実験については YouTube での解説動画の作成も行った。

- ⑧ 抵抗と交流 (p.211)
- ⑨ 抵抗とコイル (p.212)
- ⑩ 抵抗とコンデンサー (p.214) [2-1 参照]
- ⑪ 直列回路のインピーダンス (p.222)

<解説 Website と解説動画の QR コード>

website 	① 	② 
② 	③ 	④ 
⑤ 	⑥ 	⑩ 

3 研究会での発表（令和3年度全国理科教育大会）

令和3年8月10日～11日に日本理化学協会が主催する全国理科教育大会が開催された。当初は熊本県で行われる予定であったが、**covid-19**の感染拡大によりオンライン形式に変更された。今回からの新たな試みとして、各会場1名の授業者が生徒役の教員に模擬授業を行い、授業の振り返り等を通して主体的・対話的で深い学びを実現する授業の在り方を協議する、という形式も取り入れられた。私もこの形式での参加となった。当初は参加する教員の先生方に実験器具を使っただきながら授業展開を検討していただけるということで、議論が盛り上がることを期待していたが、オンライン形式に変更されたため実際に実験器具を使っただきながらの説明はできなかった。

Zoomでの発表となったが、回路カードを活用した生徒実験を開発することで、様々な教科書レベルの生徒実験を授業に取り入れやすくなってきていることを紹介した後、ブレイクアウトセッションの機能も使いながら、エントリー実験として最適な「抵抗の接続」の授業展開などを紹介した。

今後も継続的に研究発表などを通じ、実験の普及・改良に努めていきたい。

4 まとめ

ここまで述べたように、前任校も含め3回目の助成をいただいたことで、電流の分野の生徒実験の開発をかなり進めることができた。**covid-19**の感染拡大もあり、思うように実験を実施することや、他校の先生方と研究協議をすることなどにおいて制限のかかる部分もあったが、今後も開発を続け実験を主体とした授業展開の開発を進めていきたい。

謝 辞

この研究開発は、中谷財団からの助成金により実施することができました。

前述の様に今回購入した電源装置はいろいろな実験に活用できるのですが、学校の予算が限られている中、中谷財団様の予算がなければ、この実験開発はできませんでした。このような機会をいただいたことを、心より感謝しております。

また、実験装置の開発にあたり、かがく教育研究所の森本雄一先生・円尾豊先生には多くの助言をいただきました。この場をお借りして御礼申し上げます。

参考文献

- *1 近畿の物理教育 第21号(2015) 研究論文 「回路カードシステム」の開発と活用
森本雄一 かがく教育研究所
- *2 ケニス理科機器 No.920 カタログ 462頁(2019-2020)
- *3 【理科編 理数編】高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説
- *4 ヤガミ 2021・2022度版 理科総合カタログ 理科機器No.62
- *5 改訂版 総合物理2（数研出版2017）

以上