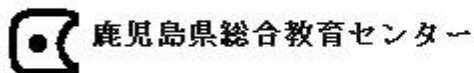


指導資料



鹿児島県総合教育センター

理科 234 号

-小,中,高,盲・聾・養護学校対象-

平成14年9月発行

回路のふしぎ

-電源の内部抵抗-

物理法則は単純ではあるが、様々な要因が互いに影響を及ぼし合い観測される現象を複雑にしている。授業では、影響を及ぼす様々な要因をできるだけ取り除き法則性を見だしていく。しかしすべての不必要な要因を取り除くことは不可能である。

例えば、「物を投げると放物線を描く」と学習する。空気の抵抗の影響で厳密に言うと地球上では決して放物線にならない。「摩擦がない水平面上では物体は等速度運動をする」と教える。ところが摩擦のない状況は決して作ることはできない。空気の抵抗や摩擦については誰も実感できるので、これらの要因についてはある程度納得できるであろう。しかし、電流など直接観測することのできない現象については、理論どおりにいかないとき、その理由を説明することは難しい。したがって、できるだけ他の要因を受けない実験を選ぶ必要がある。そのためには十分な予備実験が重要である。

そこで、ここでは電源に関する予備実験の参考になる事柄をQ & A形式でまとめてみた。

1 乾電池

電源装置は最大出力電圧や電流に制約が

あり、電流が許容範囲を超えたり、うっかり出力を短絡したりするとヒューズが切れたりするので取り扱いに注意を要する。その点、乾電池は低電圧である点を除けば、取り扱いに注意を要することはなく生徒実験に適している。

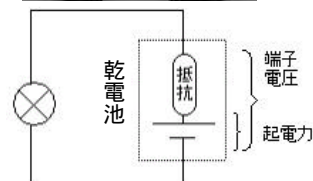
Q1 乾電池に豆電球を並列につなぐとき、1個当たりの明るさは1個つないだときと同じか。

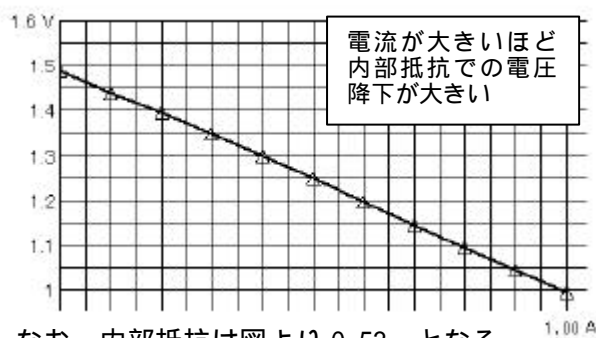
A1 明るさは同じではない。

写真のように豆電球を2個並列に接続し、片方の豆電球のソケットを緩める。片方が消えたときもう一方の豆電球は明るくなる。豆電球の数を増やせば増やすほど1個当たりは暗くなっていく。このとき電圧を測定すれば次第に下がっていくのが分かる。

電池には内部に抵抗があり、起電力は一定であるが、電流を取り出すと電池の端子電圧は下がる。

市販のマンガン乾電池の取り出す電流と端子電圧の関係は次図のようであった。





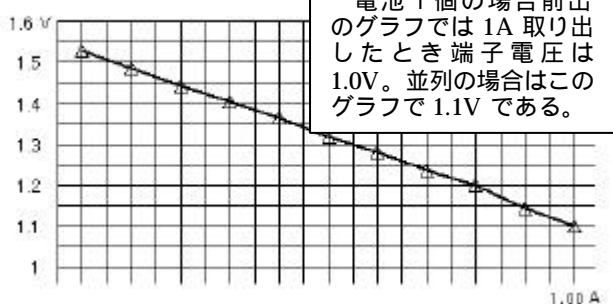
なお、内部抵抗は図より 0.53 となる。

消費電力の大きい電球ほどこの傾向が大きいので、消費電力の小さい電球を選べば見た目には明るさは変化しない。

Q 2 乾電池の並列接続にはどのような意味があるのか。

A 2 1個当たりの電池から取り出す電流が少なくなるので、端子電圧の降下を防ぐことになる。

乾電池2個を並列接続しQ1と同様に取り出す電流と端子電圧を測定した結果は下図のようになった。

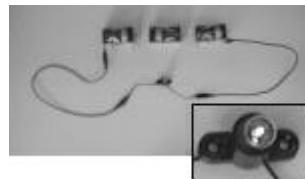


全体の内部抵抗は 0.42 となっている。これは内部抵抗を並列接続したことになるからである。したがって、大きな電流を取り出しても端子電圧の降下は少ない。大きな電流が必要な場合はこの接続が有効である。

Q 3 乾電池を3個直列につなぐとき、1個を逆につないだら豆電球は点灯するか。

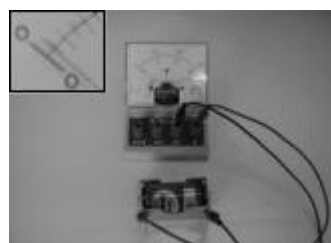
A 3 乾電池は - 側より + を常に 1.5V 高くする働きがある。したがって 3.0V 高くな

り 1.5V 下がるので、差し引き 1.5V になり点灯する。ただし、このときは電池の内部抵抗が直列になり端子電圧は 1.5V より下がる。



Q 4 乾電池の + と - を直結したらどうなるか。

A 4 抵抗がほとんど 0 の導線に 1.5V の電圧が加わり、大電流が流れる訳ではない。乾電池の内部抵抗で電圧が降下し、端子電圧はほぼ 0V になる。



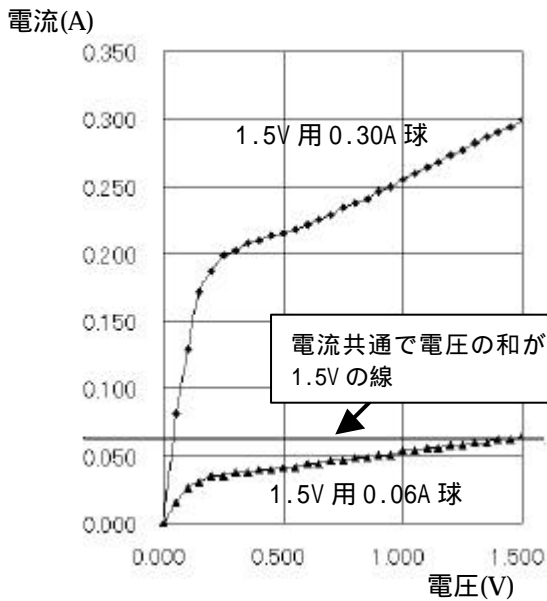
Q 5 電球は抵抗として適当か。

A 5 電球の抵抗は電圧により変化するため適当でない。

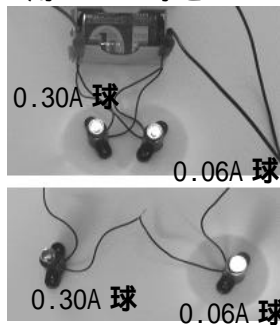
電球のフィラメントは高温で使用するのが前提である。一般に金属は温度が上昇すると抵抗が増える。次の表とグラフは 1.5V 用豆電球二種類の電圧 - 電流特性である。各電圧における抵抗値を計算すると温度が高いほど(電圧が高いほど、電流が多いほど)抵抗が大きいくことが分かる。

電圧 V		0.20	0.40	0.60	0.80
1.5V 用 0.30A 球	電流 A	0.187	0.210	0.222	0.238
	抵抗値	1.07	1.91	2.70	3.36
1.5V 用 0.06A 球	電流 A	0.035	0.040	0.044	0.049
	抵抗値	5.71	10.0	13.6	16.3

電圧 V		1.00	1.20	1.40
1.5V 用 0.30A 球	電流 A	0.255	0.273	0.290
	抵抗値	3.92	4.40	4.83
1.5V 用 0.06A 球	電流 A	0.054	0.058	0.062
	抵抗値	18.5	20.7	22.5



使用電圧や消費電力の異なる電球を直列につなぐときには注意を要する。写真は1.5V用 0.30A 球と 1.5V用 0.06A 球をつないだときのものである。直列のとき 0.30A 球は点灯していない。グラフより電流が等しく、電圧の和が 1.5V の位置を求めると 0.30A 球の電圧は 0.02V 前後である。



Q 6 モーターの回転を手でおさえ、回転をすだいに遅くしていく。このとき、電流も減っていくのだろうか。

A 6 遅いときの方が電流は多い。回転の原理は、モーターの中のコイルに電流が流れ、電磁石となり固定磁石に引き寄せられることで回転する。ところが、コイルが磁石に近づくことでコイルに電圧（誘導起電力）が生じる。この電圧は必ず加えた電圧と逆の向き、すなわち流れている電流を妨げる向きになる。したがって、コイルを磁石に近づける速さ（回転する速さ）が速いほど

電流は減少する。すなわち、負荷が大きく回転が遅いほど電流が流れて消費電力は増加する。乾電池 1 個に接続して測定した結果は次のようになった。

	電圧 V	電流 A
高回転（負荷なし）	1.34	0.17
無回転（負荷あり）	0.89	1.07

* 適性電圧 1.5V, 無負荷回転数 8,500rpm の規格のものを使用。

負荷あり無回転のとき電圧が 0.89V であるのは、電池の内部抵抗での電圧降下のせいである。

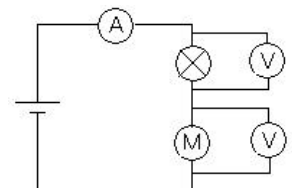
Q 7 モーターと豆電球を直列につないだらどうなる。

A 7 モーターが回転し、電球は点灯しない。モーターはホルマル線を巻いただけの構造で、回転していないときの抵抗はほとんど 0(前出のモーターで 1.2)であるが、回転し始めると誘導起電力が発生し、その分豆電球の電圧は下がり（誘導起電力と豆電球の電圧の和は電池の電圧になる）、電流は流れても消費電力が小さく点灯するには足りない。モーターの回転を止めれば豆電球は点灯する。

右図の回路で測定した結果を表に示す。

ただし、消費電力の

小さい電球では抵抗が大きいので、豆電球が点灯し、モーターは回転しない。



	モーターの電圧	豆電球の電圧	計
モーター回転	1.20V	0.15V	1.35V
モーター停止	0.21V	1.00V	1.21V

* 1.5V0.3A 球で実験。モーターは前出と同じ。

2 手回し発電機

手回し発電機は直流三極モーターを歯車

を用いて回転させ、起電力を得ている。回転が速いほど電圧は高い。実験で家庭用電化製品等の電源として用いる場合は特に電圧が規定値を超えないようにするなど注意を要する。

Q 8 手回し発電機を手で回すと発電する。では、電池で回しているとき発電しているのか。

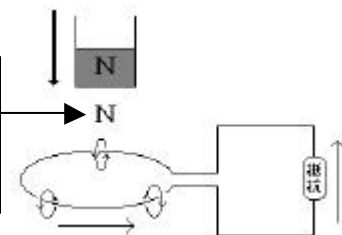
A 8 コイルの内部の磁界が変化するので誘導起電力（電圧）が生じる。この起電力の向きは加えた電圧と逆向きである。

いかなる状況においてもコイルの内部の磁界が変化すれば必ず誘導起電力は生じる。これはA 6と同じ現象である。

Q 9 手回し発電機は、空回しのときと、抵抗をつないだときとでは、なぜ手ごたえが異なるのか。

A 9 抵抗が小さくて電流が大きいと、発電機のコイルは強い電磁石となり、固定磁石（永久磁石）との間に反発力が生じる。逆に空回しすると電流は0なのでこの反発力も0となる。

コイルに磁石を近づけると誘導電流のつく磁界の向きは磁石と逆向きになる。



Q 10 回転が一定なら、電圧は乾電池のように一定値なのか。

A 10 起電力の生じるコイルは磁石に近づいたり遠ざかったりしている。したがって小さな時間のスケールで測定するとリッ



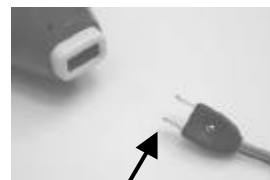
プル（脈流）が含まれている。

音響機器の電源として用いると、このリップルがノイズとなる。リップルを取り除くには、コンデンサと抵抗を利用した後述の平滑回路が必要である。

Q 11 回転を一定にして直列につないだら電圧は2倍になるか。

A 11 二つの手回し発電機の+と-の極性を間違えないようにすれば望みの結果が得られる。

注意すべきことは、コードは色分けしてあるが、プラグはどちら向きでも差込可能である。



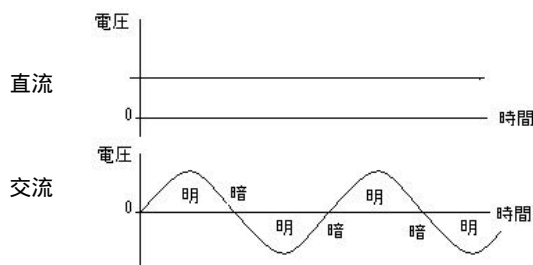
どちら向きにでも差し込めるので注意する。

3 電源装置

電源装置は変圧器(トランス)を用いて任意の交流電圧を取り出し、ダイオードを用いて整流している。整流の過程で抵抗を用いているので、取り出す電流により出力電圧は変化する。また、変圧器の性能により最大電圧、電流に制約がある。使用中は必ず電圧や電流をモニターする必要がある。

Q 12 電球に同じ電圧を加えたとき、交流と直流では明るさは同じか。

A 12 交流と直流では電圧が下図のようになっている。

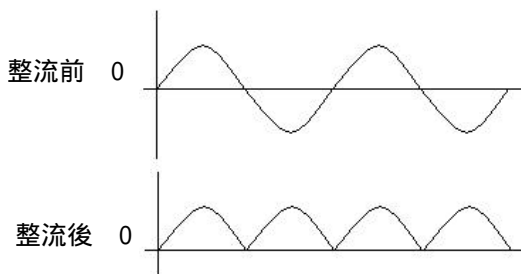


交流は電圧 0 の瞬間が繰り返されるので、一見交流の方が暗いように思うが、交流の電圧は図の正弦曲線の最大値ではない。最大値の $1/\sqrt{2}$ 倍を交流の電圧（実効値という）と定めてある。そうすることにより交流でも直流でも同じ明るさになる。交流電圧計で表示されるのはこの実効値である。例えば家庭用 AC 100V の電圧の最大値は $\sqrt{2}$ 倍の 141V である。そのほか電流、消費電力も直流と同じように計算してよい。

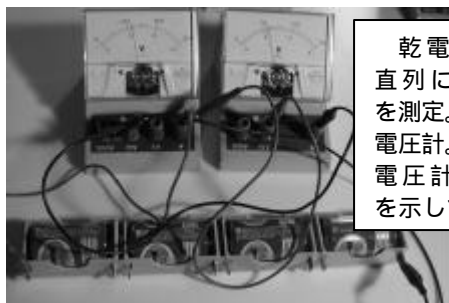
Q13 直流電圧を交流電圧計で測定してよいか。

A13 可動コイル式電圧計では同じ値を示す。

交流電圧計は電流の向きを一定方向にするためにダイオードを用いて整流している。下図は整流前と後の波形を模式的に示したものである。



可動コイル式電圧計の針の振れる角度は電圧の時間平均になるので、交流電圧計で直流電圧を計っても同じ値を示す。ただし、デジタル方式電圧計は一定間隔ごとにサン



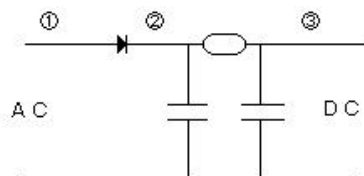
乾電池 4 個を直列にして電圧を測定。右が交流電圧計。左の直流電圧計と同じ値を示している。

プリングを行いその瞬間の値を表示するので値が一定とならない。

可動コイル式電圧計の故障としては可動コイルが過電流で断線している場合が多い。

Q14 どのようにして交流を直流に変換しているのか。

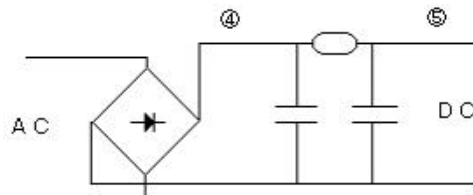
A14 ダイオードによる整流回路とコンデンサによる平滑回路で変換している。整流回路には半波整流と全波整流があり、全波整流が一般的である。



上図は半波整流回路で、各点 ~ の波形は次のようになる。



の波形を見れば分かるように、電圧が 0 の時間が半分生じている。これを解消したのが下図の全波整流である。



各点 ~ の波形は次のようになる。



写真とを比較すれば - の交流電圧が反転しているのが分かる。

電源装置でも交流電圧は一定でも平滑回路の抵抗、整流ダイオード自体の抵抗によ

り、電池の内部抵抗と同様、取り出す電流により電圧は異なってくる。

平滑回路の働きは電圧のピーク時にコンデンサに蓄え、逆に電圧の0の時にはコンデンサから流れ出すことで電圧を一定に保つ働きをしている。電源装置の直流成分にリップルが含まれる場合は電源コンデンサの容量抜けが原因である。これを取り替えることで簡単にリップルを取り除くことができる。その他故障の原因としては過電流による出力側ヒューズの断線、整流ダイオードの破損が多い。

4 太陽電池

太陽電池パネルは内部抵抗が大きくなかなか思いどおりの出力が得られなかったが、最近では内部抵抗 1.0 以下のパネルも教材用として販売されている。

Q15 太陽電池パネルで豆電球は点灯するか。

Q15 太陽電池パネルは極めて内部抵抗が大きく、豆電球をつなぐと内部抵抗での電圧降下が大きく、端子電圧は0に近くなる。パネルを直列につないでも内部抵抗も直列になり効果はない。したがって数枚のパネルを並列につなぎ内部抵抗を下げる工夫が必要である。その点発光ダイオードは消費電力が少ないので、パネル1個で点灯する。一般に内部抵抗と同じ大きさの抵抗をつないだときが消費電力は最大になる。



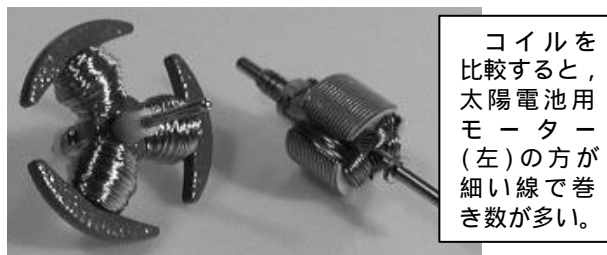
* パネル5枚で点灯。1.5V, 0.3A 球。

Q16 太陽電池用のモーターは普通のモーターとどう違うのか。

A16 太陽電池は内部抵抗が大きいので、モーターの内部抵抗も大きくしてある。消費電力が同じ場合、電圧が高い分、電流が少なくてすむ。下表は乾電池1個に普通のモーターと太陽電池用のモーターをつないだ場合の電圧と電流計の読みである。

	電圧(V)	電流(A)
普通のモーター	1.261	0.21
太陽電池用モーター	1.472	0.022

太陽電池用のモーターは乾電池でも使用できるが、普通のモーターは、太陽電池パネル数個を並列にしない限り回転しない。



コイルを比較すると、太陽電池用モーター(左)の方が細い線で巻き数が多い。

また、パネルはある一定量の光で飽和状態になるので、光の量をむやみに増やしても効果はない。

真空管が時代とともに消え、トランジスタからICへと変わってきた。それに伴い、数百Vの直流電圧を使用する実験も少なくなってきた。低電圧回路においては乾電池などは安全な電源装置であり、その特性を利用して様々な実験が手軽に行える。

理科の実験は手順どおりにさせることが多かった。しかし、中学校の選択理科や高校の課題学習など、ある程度生徒の自主性にまかせることも多くなってきた。危険なことも考えられるので、これを指導するときは十分な教材研究や予備実験が必要であろう。

(第二研修室)