

★本稿は Advancing Physics A2 の付録 CD の第 2 章：Sensing の Resource Manager に収録されているデモンストレーション実験および生徒実験の部分訳です。Y P C（横浜物理サークル）で開催した A P 学習会の輪読レポート資料として作成しました。翻訳した項目は、下記の目次中に太字ゴシックで示されています。

第二章：センシング

2-2 リソースマネージャー

2-2-1 学習活動

2-2-1-1 演示実験

実験室を記録する

電子ビーム中の電流と電荷

電荷を『スプーンですくう』

往復するボールと炎の中のイオン

『色つきの』イオンによる電気伝導

同軸ケーブルを伝わるパルスの速さ

ランプの点灯

2-2-1-2 プレゼンテーション

電氣的測定の基本型

2-2-1-3 ソフトウェアによる学習活動

運動する荷電粒子の WorldMaker 模型

10 の指数と対数による計算

フィラメント電球のコンダクタンスと抵抗

ネオンランプのコンダクタンスと抵抗

シリコンダイオードのコンダクタンスと抵抗

オーム抵抗のコンダクタンスと抵抗

分圧器における負荷の効果

簡単な温度プローブ

よりよい温度プローブ

内部抵抗のモデル化

2-2-1-4 実験

生徒による電気伝導

様々な種類のセンサを使う

デジタルマルチメーターを使った抵抗の測定

抵抗の直列接続と並列接続

フィラメント電球：電力と加えられた電位差の関係

電氣的特性

分圧器

電源（電池）の内部抵抗

光の強度の急速な変化をモニタする
位置センサの校正
降雨の測定
フォトダイオードとフォトトランジスターの比較
温度センサを使う
振動をモニタする
弓のこの刃の振動
空気の流れをモニタする
センサプロジェクトの打合せ

2-2-2 提示素材

2-2-2-1 コンピュータースクリーン

微細加工された構造物の画像
ネオンランプの電流－電位差グラフ
ネオンランプのコンダクタンス－電位差グラフ
シリコンダイオードの抵抗－電位差グラフ
シリコンダイオードの電力－電位差グラフ
オーム抵抗の電流－電位差グラフ
オーム抵抗の電力－電流グラフ
オーム抵抗の電力－電位差グラフ
フィラメントランプの $V - I$ グラフ
フィラメントランプの抵抗－電流グラフ
フィラメントランプの電力－電位差グラフ
フィラメントランプの電力－電流グラフ
がく座ベータ星：恒星のまわりの塵の雲と考えられる『雑音の多い』天体写真
天体写真における偶然誤差と雑音
測定用増幅器の簡単な回路

2-2-2-2 OHPのトランスペアレンシー

並列接続と直列接続した導体
直列および平行した川
川と電流
電位差：例
コンダクタンスと抵抗の計算のしかた
電源（電池）と内部抵抗

2-2-3 ファイル

2-2-3-1 表計算モデル

分圧器のモデル
負荷のある分圧器の計算による出力電圧

2-2-3-2 表計算のデータテーブル

電位差や電流による抵抗と電力の変化：フィラメントランプの場合

電位差や電流によるコンダクタンスの変化：ネオンランプの場合

電位差や電流による抵抗の変化：シリコンダイオードの場合

電位差や電流によるコンダクタンスの変化：オーム抵抗の場合

負荷のある分圧器の出力の測定値

内部抵抗：負荷を加えた電池からの電位差に生じる効果

2-2-3-3 実行ファイル

対数：手作業用のモデル

動く荷電粒子

分圧器の2つのモデル

温度測定用の簡単なセンサ

温度測定用のより良いセンサ

電流による電位差の変化はどのように描かれるか

2-2-4 問題

2-2-5 読み物

電荷を『スプーンですくう』

学習活動 30D： 演示実験

電荷とはどんなものか？

ずっと昔から、琥珀のような物質が摩擦されると、それらが『電気を帯びる』ことは知られていた。しかし、琥珀を意味するギリシャ語が'elektron'であったとはいうものの、それはその現象が琥珀に起こることであることを意味しているだけである！現実の理解がこの時点では全然なかった。その後次第に、琥珀の上に乗っている『何ものか』は、『電荷』と呼ばれるようになっていった。この『電荷 charge』という言葉は『鉄砲の装薬 charge 一射分』の用例のように『強力な何かの量』を示唆していた。このデモンストレーションを見せることは、電荷を、あちこちに移動できる『何か』の量とみる感覚を養う助けとなる。

用意するもの

- ・デジタルクーロンメーター
- ・プラスチックの棒：ポリエチレンとアセテートまたはパースペックス強化ガラスと綿布
- ・EHT 電源装置 直流 0-5kV
- ・4mm プラグの上にとりつけた金属円盤
- ・4mm 導線
- ・ティースプーンおよびテーブルスプーン それぞれポリエチレンの絶縁棒にくくりつけておく

電荷はすくわれて、まるでそれが砂糖かミルクのようにスプーンにより運ばれうる。金属スプーンを絶縁された取っ手にとりつけ、高電圧電源のターミナルにそれを触れる。スプーンを電荷測定器に運び、その上に電荷をあける。この操作を繰り返す：測定される電化は前の量よりも増加していく。こうして等しい量の電荷を何度でも運び続けることができる。

スプーンをさかさまにして試してみよう。運ばれた電荷は同じである。従って、それはミルクや砂糖とは全く似ていない！しかし、どのような金属物体でも『スプーン』の代わりをするが、それは『スプーン一杯』ずつしか移動できない。

より大きいスプーンを試してみよう。より多くの電荷が輸送される。電源の電圧をより大きくして試してみよう。さらに、より多くの電荷が輸送される。従って、導体の電荷の量は導体の電位差とサイズに依存する。

電子の電荷が $-1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ であるということを知れば、『スプーン一杯』の電荷の中の電子の数を計算できる。典型的なスプーン一杯の負電荷は、 -2nC である。従って、電子の数は下記である：(式略)

また、ポリエチレンまたはガラスのような絶縁体を布切れでみがくという、『古風な方法』で電荷を生産することができる。これは少しの電子を一方の物質からはぎとり、それらを他方に置いていく。余分な電子を持つ方は負に帯電し、不足する方は正に帯電する。

結果

- 1.電荷は見ることはできないが、十分に現実的で、他の実体のある物質的な量のように、汲んだり測ったりできる。
- 2.電荷は正か、または負である。
- 3.電子は非常に小さい電荷を持っている。『帯電した物体』は、電子のわずかな過不足を持つものである。

往復するボールと炎の中のイオン

学習活動 40D：演示実験

電荷は動くものによって運ばれる

電流は、まさに、1つの場所から別の所に動いている電荷である。この電荷は何によっても運ばれうる：電子のような粒子によっても、ピンポン玉によっても。

用意するもの

- ・ EHT 電源、直流 0-5kV
- ・ 一對の導体の円盤、絶縁し縦にして固定する
- ・ 4mm の導線
- ・ コロイド状黒鉛で塗装したピンポン玉、長さ 1.5m のナイロンテグスで吊す
- ・ 高いレトルト台、突起とクランプ??? (意味不明)
- ・ マイクロボルトメータ
- ・ ストロボスコープ
- ・ ロウソクとマッチ

大きい電位差に 1 対の金属板を接続する。スパークがない限り、電流は全くそれらの間のギャップを横切って通過しない。しかし、導体球をギャップにぶら下げて、それを 1 つのプレートに触れさせると、それはその金属板から電荷を受け取る。充電された導体球はその板から反発を受け、他の板により引き付けられる。従って、それはもうひとつのプレートに触れるまで揺れる。そこで、球はその電荷を渡し、最初の金属板へと戻る。この過程を繰り返し、導体球は金属板の間を行ったり来たり往復する。

敏感な電流計を金属板に接続しておくこと、電流が流れていることが示される。それはほんのわずかのマイクロアンペア程度であろう。

電流および金属板の間を導体球が往復した時間を知っているならば、あなたは、導体球により運ばれた電荷を計算できるであろう。なぜなら、電流は導体球がギャップを横切って電荷を運ぶ割合であるからだ。

導体球を取り去り、今度は、ロウソクをギャップに入れる。炎は、原子にとってそれらがイオン化されるのに十分なほど熱い。これらのイオンはまた、ギャップを横切って移動する。このたびはそれらが動くのを見ることができないが、計測器によって電流が示されるのを見ることができる。電流は往復する導体球により運ばれるものよりかなり大きい。正の炭素イオン（ロウソクのワックスは炭素を含んでいる）からなる煤は、負に帯電した金属板に堆積する。

記憶すべきこと

1. あなたは、電荷を輸送する動く球が、測定器で検出できる程度の電流を配達するのを見ているであろう。
2. あなたは、 $I = Q / t$ を使って電荷と電流や、毎秒輸送される電子の個数 n を計算することができる。
3. あなたは、非常に大きいおよび非常に小さい数によって計算することに慣れるべきである。
4. あなたは、熱い炎がその中の原子をイオン化できるので、炎が電気の導体であるということを知っているべきである。

生徒による電気伝導

学習活動 60E:実験

電気の導体としての人間

電気はその昔、当時の不思議であったことがある。電気のデモンストレーションは王や女王の前で実行された。一例として、この版画では、絹製のロープを（絶縁体）によって宙づりにされた廷臣が、今まさに電気の導体として使われようとしている。さらには-たぶん危険にも-手を手をつないで輪を作り、回路を作っている人々に電撃を与えようとしているのだろう。今日では、電気は日常のものとなり、あなたは、赤ん坊のときから、それによって遊ばないように教えられているであろう。大部分が塩水でできているようなあなたの体は電気をとてもよく導く。

用意するもの

- ・電源装置、直流 5V
- ・マイクロボルトメータ
- ・4mm 導線
- ・生徒のボランティア 1 クラス分

あなたはどれほどよく電気を通すか？

最高 10 人のボランティアグループに、手をつないで輪になってもらう。輪の一箇所を切り、5V の電源および敏感なガ検流計をこの『人間回路』に挿入する。反射式検流計の光線は横に揺れて、輪になった人々を走り抜けている電流があることを示す。どれほどの電流が流れるか？何か感じるだろうか？人々はどれほどよく電気を通すか？

電流は小さく、おそらく 10 または 20 μ A 程度である。誰も何にも感じない。

1 人のボランティアだけで試してみよう。電流はより大きくなり、たぶん 100 から 200 μ A ぐらいである。人はまだ何にも感じない。

一方の手から他方の手までの、人間一人の体のコンダクタンスはいくらか。これらの計算から、それは次のように求められる：

コンダクタンス = 人体を貫く電流 / 人体に加わる電位差

(式略)

ジーメンズ S はコンダクタンスの単位である。

もし 20 μ A が人の輪をぐるりと通過するとき、それぞれの人が体を横切って 0.5V を負担しているとするならば、この結果は輪をなす 10 人の人々でも同じことである。すなわち：

(式略)

見方を変えて、人の電気抵抗はいくらか？同じ計算から：

人体の抵抗 = 人体に加わる電位差 / 人体を貫く電流

(式略)

ここに、オーム Ω は抵抗の単位である。

注意：結果はしばしば顕著に人ごとに、また、日ごとに変わる。

$G = I / V$ で $R = V / I$ であるから、 $G = 1 / R$ かつ $R = 1 / G$ である。2 つの量は同じ事を違う表現で述べただけである。それぞれは互いに逆数である。例えば：

$$1 \text{ S} \quad 1 \Omega$$

$$0.1 \text{ S} \quad 10 \Omega$$

$$10 \text{ S} \quad 0.1 \Omega$$

危険かどうか？

懐中電灯の電池は危険ではない。なぜなら、それらは（小さい抵抗の回路で）比較的に大きい電流を生むけれども、それらは安全な低い電位差で動作し、実際に人体を通して流れるときには、ごく小さい電流が流れるだけだからである。

バン・デ・グラフ起電器（またはナイロンカーペットを足でこすっているあなたの靴）のような静電高圧発生機は危険ではない。なぜならそれは、非常に高い電位差であるにもかかわらず、無害な小さい電流を生産するだけだからである。重要なことは、人体にかなりの電流をもたらすのは、十分に大きな電位差と十分に小さな電源の内部抵抗の組み合わせだということである。

電位差が約 30V 程度までは十分に安全であると考えられる。100V 以上の高圧電源、または 1kV 以上の EHT 電源では、もし供給された電流が十分ならば致命的かもしれない。マイクロアンペア程度のわずかの電流は感じられない。約 1mA 程度の電流は、平均的な人にとっては、心地よくはないが、致命的ではない。ひとたび数 mA 以上の電流が流れて、もし特に心臓の近くだったならば、心臓停止か心室細動（心筋の不規則な痙攣）が結果として生じるかもしれない。人体のコンダクタンスは、主として皮膚と汗腺の状態に大きく依存し、それらが湿っているか、または汗ばんでいるときは高くなる。電灯のスイッチが、通常浴室の外に配置され、仮に浴室内にあっても絶縁されたひもで操作されるのはこのためである。皮膚の中の体液はイオンをたくさん含むため極めてよい導体であり、皮膚の抵抗が火花放電によって破壊されると、かなりの電流が人体を通して流れるかもしれないのである。

結果

1. あなたの体は、それを横切る電位差 1 ボルトあたり数十マイクロアンペアの電流を導く。従って、1000V では電流は数十ミリアンペアに達し、十分に致命的である。しかし、あなたの体の抵抗は大きく変化するため、わずか 50V あまりの電圧で死に至ることもあるし、230 V では大抵死ぬことになる。

電源（電池）の内部抵抗

学習活動 240E:実験

電荷が電池（または他の電源）の内部を通って動くと、電池により電荷に与えられたエネルギーのうちのいくらかが、電池自身の中で浪費される。その残りが、電池と接続された回路を横切る電位差（単位電荷あたりエネルギー）として使われることが可能である。いま、電源の起電力を E 、その内部抵抗を r とすれば、電流 I が流れるときの電位差 V は、 $V = E - Ir$ である。

以下の道具を集めよう

- ・デジタルマルチメーター 2 台
- ・ジャガイモ
- ・0.5cm × 2 cm の銅シート、0.5cm × 2 cm の亜鉛シート
- ・ワニグチクリップ 2 対
- ・抵抗代用箱 ???（意味不明）
- ・4 mm 導線 5 本

データの取得およびそのための感覚を養うこと

まずはじめにクイック・ルックを取る（ざっとあたりをつける）。次に電池の振る舞いをモデル化するのに使える詳しいデータを集める。

1. 電池を組み立てる。銅と亜鉛を電極として使い、それをジャガイモのそれぞれの端に挿入する。ワニグチクリップで回路との結線を行う。
2. 電池の端子間電圧とそこから流れ出す電流を測定するための回路をセットする。はじめは負荷として $4.7k \Omega$ の抵抗を用いる。
3. 負荷抵抗を変更する。導かれる電流および供給された電位差に変化に注意する。一般傾向を示すために、電位差対電流の概略のグラフを描く。
4. 以上の導入を振り返る。あなたのパターンはこの記述に適合しそうか？
5. 今度は、負荷抵抗のレンジごとに電流と電位差の表を作成する。測定器が対応できるようにスケールの両端に用いる値を慎重に選ぶ必要がある。
6. $V-I$ グラフをプロットする。それは上のパターンに適合しているか？

結果

1. 電源が供給する電流が増大するにつれ、電位差のが降下するのを確認する。
2. このパターンを上記の記述とマッチさせることができる。