

第 11 回

「リフレッシュ理科教室」

(中国四国支部 広島会場)

—楽しい理科授業のための教材研修ワークショップ—

平成20年8月4日(月)

広島大学東広島キャンパス(教育学部)

主催 (社) 応用物理学会, 応用物理学会中国四国支部

第11回

「リフレッシュ理科教室」

(中国四国支部広島会場)

—楽しい理科授業のための教材研修ワークショップ—

主 催 : (社)応用物理学会, 応用物理学会中国四国支部

企画・運営 : 「リフレッシュ理科教室」(中国四国支部広島会場) 実行委員会

後 援 : 広島県教育委員会

広島市教育委員会

東広島市教育委員会

応用物理学会応用物理教育分科会

開 催 : 平成20年8月4日(月)

開 催 場 所 : 広島大学東広島キャンパス(教育学部)

「リフレッシュ理科教室」の開催にあたって

しゃだんほうじん おうようぶつりがっかい こうえきじぎょういんかい
社団法人 応用物理学会 教育・公益事業委員会 委員長
わたなべ かずお
渡辺 和雄
きんぞくざいりょうけんきゅうしよ きょうじゆ
(東北大学 金属材料研究所 教授)

<小中学生のみなさんへ>

みなさんは毎日の学校や家庭の生活の中で、身近に起きる自然現象を不思議に思ったりしていませんか。なぜ虹は7色になるんだろう、なぜ台風が生まれるのんだろう、どうして太陽は燃えているのんだろうなど自然には不思議なことがたくさんあります。また、みなさんのまわりにある私たち人類が発明した飛行機はどうして空を飛べるのんだろう、テレビはどうして映るのんだろう、電話はどうして聞こえるのんだろう、冷蔵庫はなぜ冷えるのんだろうなど、たくさんわからないことを見つけていることでしょう。

みなさんのこのような疑問や興味は、とても大事なことです。この疑問に「なるほど、そういうことか」と答えてくれるのが「理科」なのです。理科への興味は、すばらしい知識を増やして、また、自分で工夫していろいろなものを作るという力をつけてくれます。理科の知識をもとにして、工作することは大変楽しいことです。聞いたり学んだりしたことが、実際に目の前にできあがってくるのはとてもわくわくします。

リフレッシュ理科教室では、みなさんが「楽しいな、おもしろいな」と思えるような、いろいろなモノ作りや工作実験を用意しています。最初は不安かも知れませんが、まず、自分の手を使って、いろいろなモノを作ることの楽しさを体験し、自分にも作ることができるという経験を、ぜひ味わってみてください。

<教師・保護者の皆様へ>

昨今の「若者の理科離れ」は、技術立国を目指して進んできた日本の将来を根底から危うくしかねない問題です。教育・公益事業委員会においては、この傾向を少しでも改善し、逆に、「理科が大好き」となるような次世代を背負う若者を増やすことを目的に、「リフレッシュ理科教室」を実施しております。これは実験工作を主体とした催しで、若者を指導する先生方に、まずご自身で、「理科」の楽しさを体験し、実際の学校教育の現場で活用していただくとともに、その実践の場として児童、生徒対象の理科工作教室にご協力頂き、学会幹事と一緒に理科好きの若者を育てていただくことを目的としております。

つきましては、この催しを通じて、先生方は勿論、保護者の皆様も子供たちが作る工作について、一緒に楽しみ、一緒に考えて、共通の体験をしていただき、次世代を背負う若者たちの理科への関心を少しでも高めていただければと思っております。

「リフレッシュ理科教室」に寄せて

社団法人 応用物理学会 中国四国支部 支部長

上浦 洋一

(岡山大学大学院自然科学研究科 教授)

応用物理学会は、物理を中心とした理科教育を重視する観点から、青少年を対象とした科学啓発活動を行っており、小中高校教員対象の科学実験教室「リフレッシュ理科教室」はその中心的イベントとして定着しています。このような活動の原点は、「理科が好きでたまらない」子供や若者を増やすことにより、彼らが将来日本の科学・技術を担ってゆき、技術立国として我が国が繁栄し続けることを、当学会が切に願っている点にあります。

当学会中国四国支部では、ここ数年は香川大学を中心として理科教室活動を行い、成果をあげてまいりました。本年度は香川大学に加えて、広島大学においても前原先生のお世話で開催していただくことになり、当支部の理科教室活動に一層の広がりとし新しい展開を期待しているところです。

今回のプログラムを拝見しますと、静電気に関する講演と実験、振り子の実験などわたしたちの身の回りにある親しみやすい現象で、しかもいかにも子供たちが不思議に思うであろう題材を取り上げていただいています。かと思えば、電気回路のように普段は電気製品の内部に隠れて見えないが、大変重要でかつ興味深い実験テーマも含まれています。これらは全て子供たちの目線から実験しても彼らの興味を引きつけるのに十分面白いテーマではありますが、本当はかなり奥が深いものでして、先生方にとってもわくわくする面白い題材ではないでしょうか？ 実は先生方がわくわくしながら夢中になって実験していただくことが、子供たちの教育において決定的に重要な要素だと思います。教える側が面白いと思いつつ教えれば、その熱意は自然と子供たちに伝わります。そして、どこがどのように面白いのかということをお子たちに伝えれば、彼らも知らないうちに深い知識やものの見方を身に付けることができ、他の様々な物理現象に対しても関心を高めてくれるのではないかと期待しています。

本日の理科教室において、先生方は思いきり楽しんでいただき、その雰囲気や息吹をそのまま普段の教育現場において子供たちに伝えていただきたいと願っています。

第 11 回リフレッシュ理科教室開催にあたって

中国四国支部広島会場 実行委員長
前原 俊信
(広島大学大学院教育学研究科 教授)

本日までご参加の皆さん、お忙しい中お難うございます。また、会を企画・運営するにあたってご協力をいただきました皆さんに、心よりお礼申し上げます。

広島で初めてリフレッシュ理科教室を開催したのは9年前になります。その際には、実行委員長を務めて下さった柴一実先生を始め多くの方々と意義のある教室にできたことと喜びました。翌年も続けて開催しましたが、諸般の事情で中断し、再開したいと思いつながらなかなか実施できませんでした。そうしているうちに全国各地でリフレッシュ理科教室が開催されるようになりました。中でも活発な活動を続けられている名古屋のグループのメンバーと知り合う機会があり、広島でもまた開催するように強く勧めていただいたこともあって、再開の運びとなりました。

広島では、以前と同様、学校での授業のための参考となるような、教員が楽しくリフレッシュできる内容で企画したいと考えました。教員を対象にした同様の企画として、「広島県物理教育研究推進会」が2月に「理科教材ワークショップ」を開催していますが、そちらは大人のための科学の祭典のようなブース形式のワークショップとその後の意見交換会という形になっています。こちらは、「理科教室」ですので、実験講師による教材紹介と体験の研修講座とし、さらに、最新の科学技術に関する講演をあわせた企画としています。それぞれが特徴を出しながら、地域の理科教育振興を図っていければよいと思いますし、その一翼をリフレッシュ理科教室が担えればと願っています。

今回の実験講座のうち、「振り子の実験」と「電気回路の実験」については、昨年度申請を出す際に、実施担当者として企画を決めさせていただきました。「振り子の実験」は、小学校の物理分野の実験では数少ない定量的な実験です。これについて、疑問や悩みをお持ちの先生方がいらっしゃるのではないかと考えて取り上げました。「電気回路」については、小学校と中学校と両方で取り扱いますが、どちらも、実際にやってみることが重要です。生徒実験だけでなく、説明する際にも見せたいのですが、黒板に磁石で貼るキットはなかなか購入できないと思いますので、この教室で作って持って帰っていただければ、授業に役立つのではないかと考えました。講演につきましては、寺重隆視先生に快くお引き受けいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。その講演の内容に係る実験として「静電気の実験」も企画しています。

皆様、どうぞゆっくりお楽しみください。そして、教材を活用した体験活動を通して児童・生徒に理科の魅力を伝えていただきますようお願いいたします。

プログラム

日時：平成20年8月4日（月）

9:00	受付開始
9:30-9:50	開会行事 挨拶 上浦 洋一（（社）応用物理学会・中国四国支部長， 岡山大学大学院自然科学研究科） 前原 俊信（「リフレッシュ理科教室」（中国四国支部・広島会場） 実行委員会委員長，広島大学大学院教育学研究科）
10:00-11:00	特別講演 「静電気をてなずける知恵 -最先端電子部品を守る技術-」 寺重 隆視（広島国際大学工学部）
11:10-12:10	実験教室 1
12:10-13:30	昼食
13:30-14:30	実験教室 2
14:50-15:50	実験教室 3
16:10-16:30	閉会行事

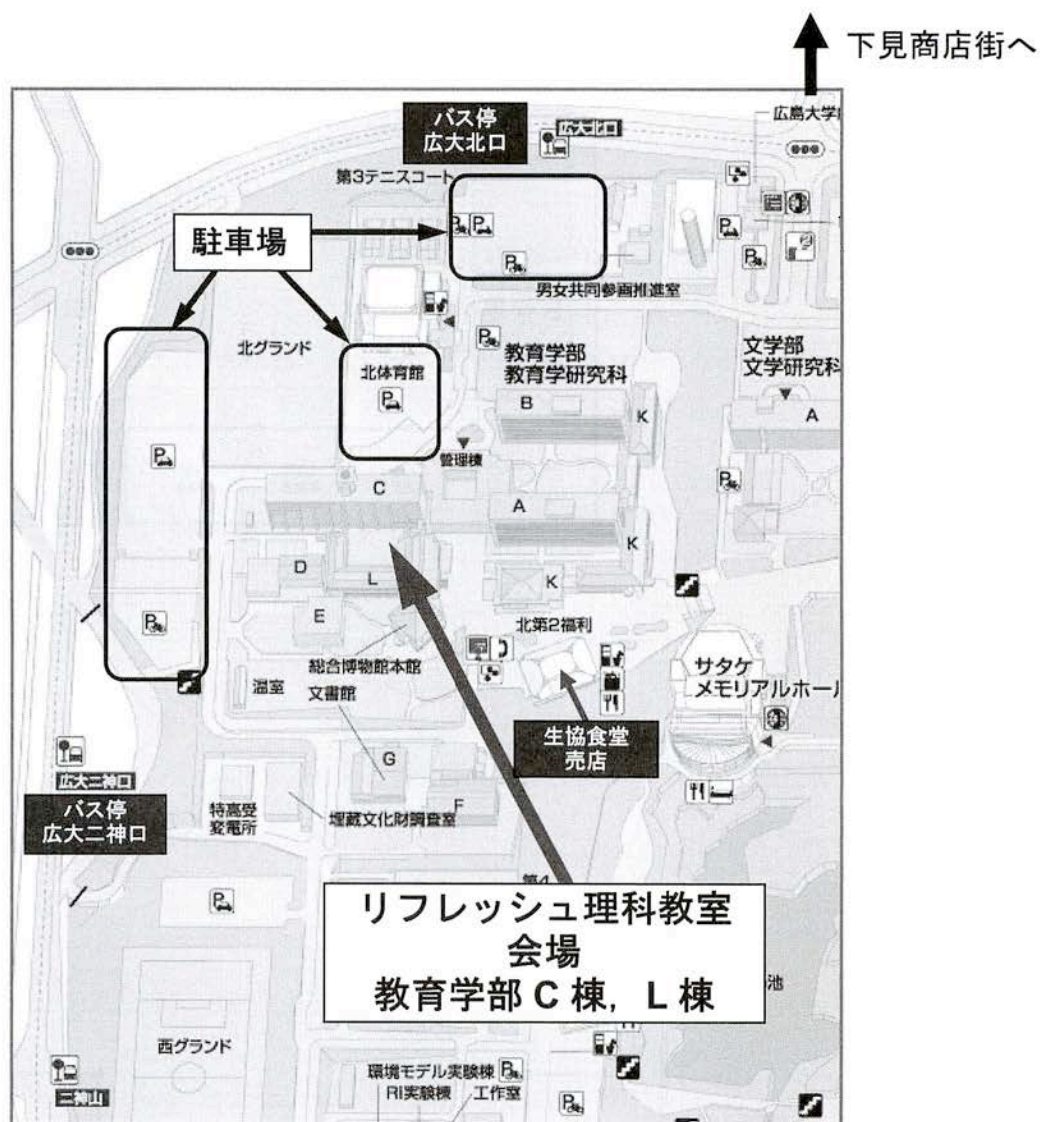
実習内容	1. 「静電気で遊ぼう」 講師：池永 寛（広島市立広島工業高等学校） 2. 「振り子の達人になろう」 講師：大藤 幸雄（呉市立内海小学校） 3. 「黒板用電気回路キットの製作と利用」 講師：八川 慎一（江田島市立能美中学校） 高味 俊雄（NPO 法人三次科学技術教育協会）
------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

*各実験は3つの会場で同時開催し、一度に各テーマ30人程度で実習を行います。

会場案内 1

[会場]

東広島市鏡山1-1-1 広島大学教育学部



- * 生協食堂が営業しています。
- * 下見商店街にもレストラン、コンビニ等があります。

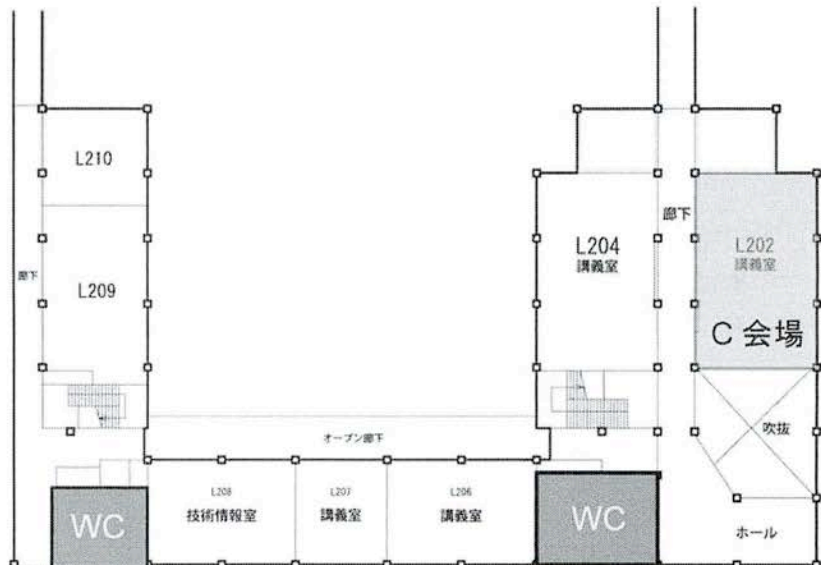
会場案内 2

C棟1階



L棟1階

L棟2階



会 場 案 内 3

1. 日 程 表

時 間	行事	グループ 1	グループ 2	グループ 3
9:00 - 9:30	受付	教育学部 L 棟玄関		
9:30 - 9:50	開会行事	S (L104) 支部長挨拶 上浦 洋一 (岡山大学大学院自然科学研究科) 実行委員長挨拶 前原 俊信 (広島大学大学院教育学研究科) 事務連絡		
10:00 - 11:00	特別講演	S (L104) 「静電気をてなずける知恵 —最先端電子部品を守る技術—」 寺重隆視 (広島国際大学工学部)		
11:10 - 12:10	実験教室 1	A (C108)	B (L110)	C (L202)
12:10 - 13:30	昼 食			
13:30 - 14:30	実験教室 2	B (L110)	C (L202)	A (C108)
14:30 - 14:50	休 憩			
14:50 - 15:50	実験教室 3	C (L202)	A (C108)	B (L110)
16:10 - 16:30	閉会行事	S (L104) アンケート記入 実行委員長挨拶 前原 俊信 (広島大学大学院教育学研究科) 閉 会		

2. 実 習 内 容

会場	内 容	教室名
S	開会式, 講演会, 閉会式	L104
A	静電気で遊ぼう	C108
B	振り子の達人になろう	L110
C	黒板用電気回路キットの製作と利用	L202

目 次

1. 特別講演

静電気をてなずける知恵 ―最先端電子部品を守る技術― 寺重 隆視 1

2. 実験教室

テーマ1 静電気で遊ぼう 池永 寛 9

テーマ2 振り子の達人になろう 大藤 幸雄 20

テーマ3 黒板用電気回路キットの製作と利用 八川 慎一 24
高味 俊雄
中高下 亨

関係者氏名 30

特 別 講 演

静電気をてなずける知恵

—最先端電子部品を守る技術—

広島国際大学工学部
寺重 隆視

静電気をてなずける知恵

—最先端電子部品を守る技術—

広島国際大学 工学部 寺重隆視

1. はじめに

わたしたちの身の回りでは、直接目に見えない所にも、様々なコンピュータが働いています。例えば、エアコン、炊飯器、DVD プレーヤの中などで人知れず活躍しています。コンピュータは半導体集積回路 (Integrated Circuit, IC) を主要な部品として構成されています。また、ほとんどの皆さんは携帯電話をお持ちでしょう。携帯電話は、それ自体コンピュータであり、高性能の半導体集積回路が用いられています。携帯電話が今の大きさまで小さくなったのは、半導体集積回路の高密度化による小型化のおかげです。

このような半導体集積回路を製造、輸送するとき、静電気は大敵で、なにも対策をしないと、壊れたり不良品ができたりするのです。このため静電気を防止する技術なくしては半導体集積回路のような最先端電子部品の製造は不可能なので、いわば、最先端技術を直接支える重要な技術であるといえるでしょう。

本稿では、静電気の基本的な性質から説き起こし、半導体集積回路とのかかわりを述べます。さらに静電気を中和する手法の一つである空気イオナイザの最新の開発事例について解説します。

2. 静電気の正体と発生原因

静電気は身近に見られる現象です。ドアのノブに触れた瞬間の放電や、衣服がこすれてできる小さな火花など、多くの人が経験していることと思います。静電気は物体の摩擦 (摩擦帯電) や、テープを剥がすなど剥離するとき (剥離帯電) などに発生します。これは摩擦や剥離により電子の移動が起こるからです。この様子を図1に示します。電子を渡したほうは正に、受け取ったほう

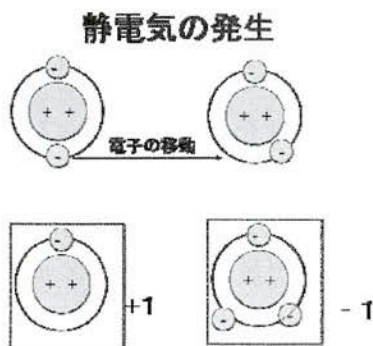


図1 静電気の発生

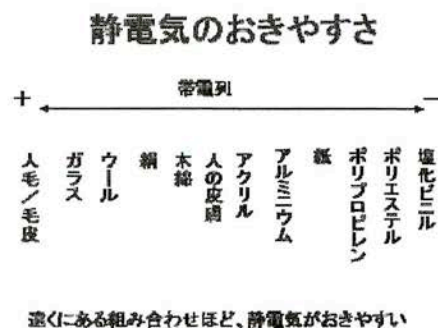


図2 帯電列

うは負に、それぞれ帯電します。また、電子がどちらへ移動するかは、物質の組み合わせによります。図2のように、電子の受け取りやすさの順に物質を並べたものを帯電列といいます。これは良くご承知のことと思います。

このようにして発生した静電気により電界が発生し、静電吸着や放電を引き起こすのです。

3. 半導体集積回路製造における静電気の除去

半導体集積回路の製造現場において、どのように静電気の制御をおこなっているのか、最新の研究事例をご紹介しますながら解説しましょう。以下は、今年9月にアメリカ・アリゾナ州で行われる静電気協会（Electrostatic Discharge Association）のシンポジウム EOS/ESD2008 で、筆者が発表する予定の内容をおおまかに易しく解説したものです。

3-1 静電気除去の必要性とコロナ放電型イオナイザ

携帯端末に代表される ICT 機器を構成する電子部品の小型化と高密度集積化が進んでいます。これは、高速移動通信を実現するために必要不可欠だからです。これらの電子部品、特に半導体集積回路(IC)の製造プロセスでは、静電気に十分注意を払う必要があります。例えば放電（Electro Static Discharge, ESD）により、破壊につながるかもしれません。また静電気は空気中の塵埃などを引きつけます。これは、一般に静電吸着（Electro Static Attraction, ESA）と呼ばれます。半導体集積回路は 1000 分の 1 mm 以下の微細な構造ですので、この大きさの塵埃ですら、1 個でも付着すると不良品発生の原因になります。さらに検査工程では、静電誘導により誤動作を引き起こし、良品を不良品として判定する、あるいは不良品を良品として判定する可能性もあります。このように半導体集積回路の製造プロセスでは、静電気は歩留まり（良品率）を低下させる大きな要因となるのです [1-7]。

図3はイオンによる静電気除去の原理を示しています。イオンを発生させて、プラスに帯電した場所には負のイオンが、負に帯電した場所には正のイオンが、クーロン力により引き寄せられ、電気的な中和すなわち除電が行われます。半導体集積回路の製造工程、検査工程にはコロナ放電型空気イオン化装置（イオナイザ）が広く用いられます。コロナ放電型イオナイザは、高電圧をエミッタと呼ばれる針状の物体に印加して高電界を作り出し、コロナ放電を起こさせることによりイオンを発生させます[1]。

しかし、現状ではコロナ放電型イオナイザを使用するうえで次のような2点の問題があります。

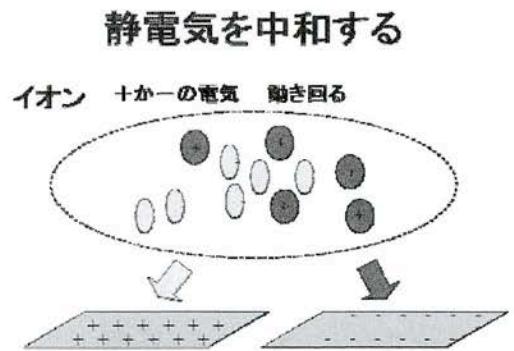


図3 イオンによる静電気除去の原理

- 1) イオナイザで発生する電界[3,4]
- 2) 正と負のイオン生成量のアンバランス[6,7]

です。

コロナ放電型イオナイザは、エミッタと呼ばれる針状の物体に高電圧を印加しているため、エミッタ先端からは常に強い電界が発生しています。また、イオナイザが生成したイオン自身の空間電荷分布が電界を発生させます。これらの電界は、製造中の半導体集積回路に前述のように破壊や誤動作といった影響を及ぼす可能性があります。

またイオナイザを用いる場合、正と負のイオン生成量のアンバランスがあると、完全に静電気を中和させることができません。そればかりか、逆に帯電させてしまうことすら起こりえます。イオナイザを動作させて十分時間がたった後にも残留している静電気による電位を最終到達電位といい、この値は小さいほど残留している静電気が少ないことを意味します。半導体集積回路の高密度化・微細化にともなって、この最終到達電位は $\pm 1 \text{ V}$ 以内にすることが求められています。静電気によって発生する電位が 1000 V 以上になる場合もあることを考えると、 $\pm 1 \text{ V}$ 以内というのはかなり難しい目標です。

そこで、前述の 2 つの問題、すなわち電界とイオン生成量のアンバランスの問題を解決するために筆者らは、制御回路と交流 (AC) コロナ放電型イオナイザから成る静電気除去システムを提案しました。この静電気除去システムは、構造は非常に簡素なのですが、後に述べるように最終到達電位を $\pm 1.0 \text{ V}$ 以下にすることができました。

3-2 静電気除去システムの原理と実験

図 4 は、提案した静電気除去システムの原理を表しています。このシステムは、コロナ放電型イオナイザ、制御装置、コントロールリング、静電気除去を行う場所における正負のイオンの量を測定するためのイオンバランスセンサから成ります [7]。正負のイオン生成量を制御するために、コントロールリングを用いました。コントロールリングへの印加電圧によって、イオン生成量を制御することができます。例えば、イオンバランスセンサが「正」を検知したとすれば、コントロールリングへは発生した正イオンを吸収するように負の電圧を印加します。逆にイオンバランスセンサが「負」を検知したとすれば、コントロールリングへは発生した負イオンを吸収するように正の電圧を印加します。

イオンバランスセンサおよび制御装置の構成回路を図 5 に示します。イオンバランスセンサは、アンテナ、MOSFET (2SK241) と演算増幅器 (TL071) の 3 のブロックから成っています。アンテナは、近傍のイオンを捕えるアンテナとして用います。アンテナの材料には、直径 50 mm (19.6 cm^2) 厚さ 1 mm の銅板を用いま

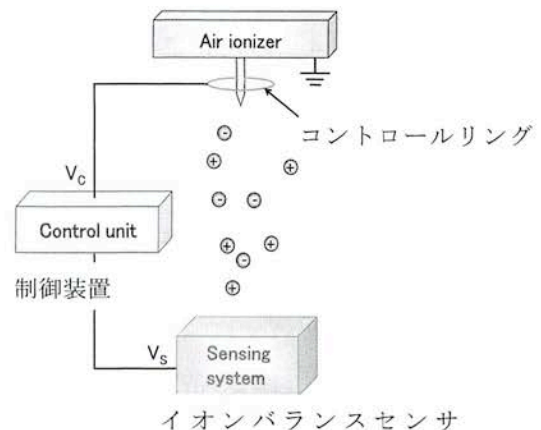


図 4 静電気除去システムの原理

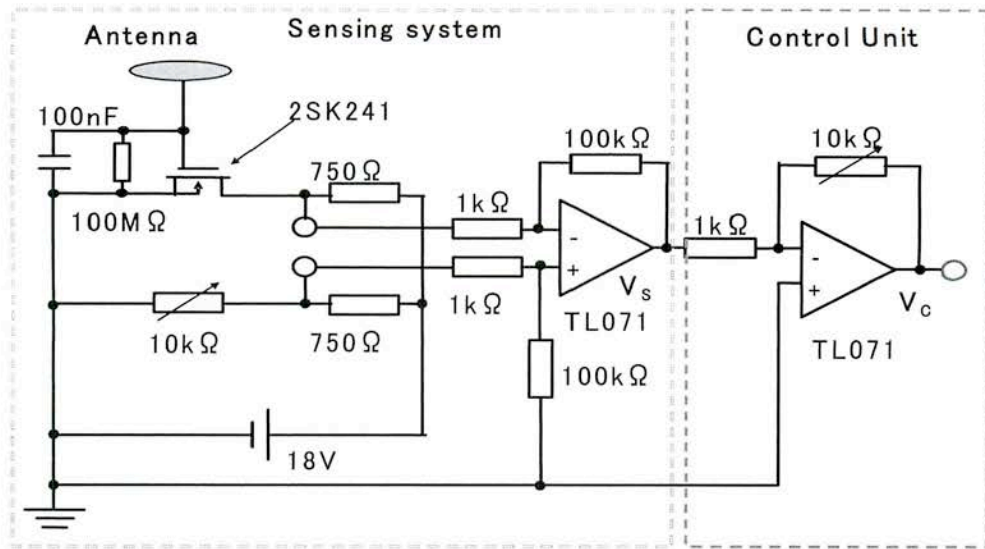


図5 イオンバランスセンサおよび制御装置の構成.

した。捕えられたイオンは、MOSFETのゲート電極に接続された抵抗器（ゲート抵抗、 $100\text{M}\Omega$ ）を通しアースに流れます。

この実験で使われるMOSFETは、正負両方のイオンが計測可能になるようにデプリーション型（ノーマリーオン）とよばれるタイプを用いました。

ゲート抵抗を流れる電流の電圧降下はそのままゲート電圧としてMOSFETに入力され増幅されます。MOSFETの出力は、ホイートストリブリッジを通して演算増幅器に入ります。アンテナ以外の回路は金属容器に収納し静電遮蔽を行っています。

図6は、実際の静電気除去システムとその効果を測定するための機器構成です。コロナ放電型イオナイザを 72kHz で駆動してイオンを生成しています。筆者らはこれまでの研究から、高周波の電圧をエミッタ先端に印加するほうが商用電源周波数の高電圧を印加するよりも、コロナ放電型イオナイザからの電界を抑えられることができることをつきとめています[4]ので、この結果を活用しています。ここではセラミックトランスで昇圧しました。また生成したイオンを効率よく輸送するため、コンプレッサにより 0.3 m/s の空気流を発生させています。静電気除去特性は、 20 pF の静電容量を有する帯電プレート電位測定器を用いて測定しました。帯電プレート電位測定器は、金属製帯電プレートを2枚平行に配置した並行平板型コンデンサに

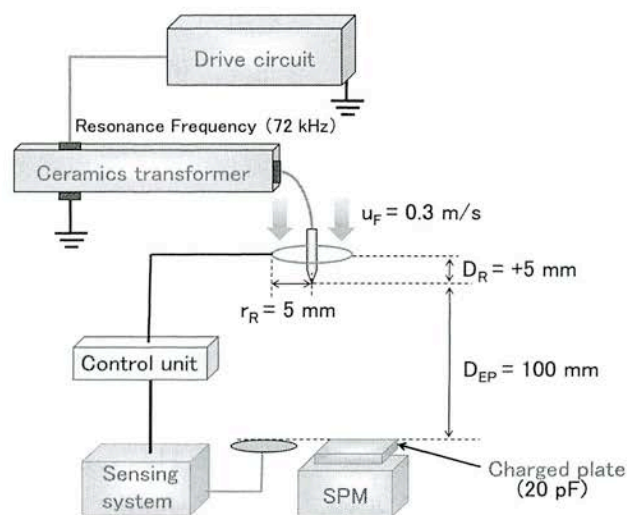


図6 実際の静電気除去システムと測定系

表面電位計 (Surface Potential Meter, SPM) を接続した構造です。帯電プレート電位測定器を充電し、その後この静電気除去システムによって電氣的に中和することを試みました。測定は以下の条件で行いました。

- 1) コントロールリングの半径 r_R : 5 mm
- 2) コントロールリングの位置 D_R : エミッタ先端より上方 5 mm
- 3) エミッタ先端と金属プレートとの間の距離 D_{EP} : 100 mm
- 4) 相対湿度 : 40 % RH
- 5) 温度 : 296K

図 7 静電気除去中の帯電プレートの電圧 (V_P) の時間変化を示します。ここでは、はじめに帯電プレートの電位が ± 1100 V となるよう充電し、静電気除去を開始しました。図 7 において、「Non Control」と表示された曲線は、制御装置を動作させなかった場合を示します。この場合、最終到達電位はおよそ 250 V でした。これは、正イオン生成量が負イオン生成量よりも過剰であったことを示しています。「Control」と示された曲線は、制御装置を動作させた場合を示しています。制御装置を動作させた場合、最終到達電位は ± 1.0 V 以内でした。

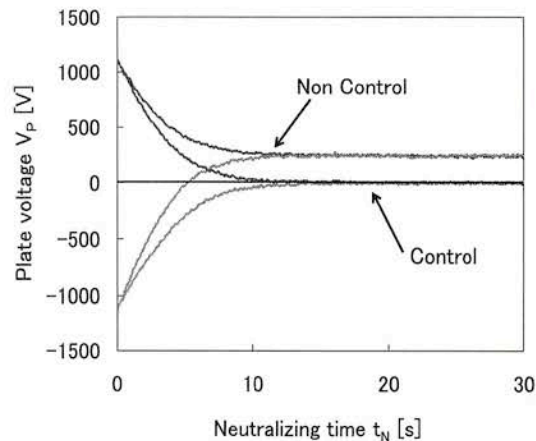


図 7 プレート電圧の時間変化 (初期電位 ± 1100 V)

図 8 は帯電プレートの電位が ± 11 V になるよう充電し、図 7 の場合と同様に静電気除去中の帯電プレートの電圧 (V_P) の時間変化を表したものです。この場合も制御装置を動作させています。この場合も最終到達電位は ± 1.0 V 以内でした。また、帯電プレートの電圧 (V_P) が ± 10 V から ± 1.0 V まで低下する時間は、およそ 20 秒であることがわかります。イオン生成量の変化は、例えばエミッタの表面状態の変化によるものだとすれば、「何時間」というレンジでゆっくり起こりますので、この場合 20 秒という値は小さいと見ることができます。

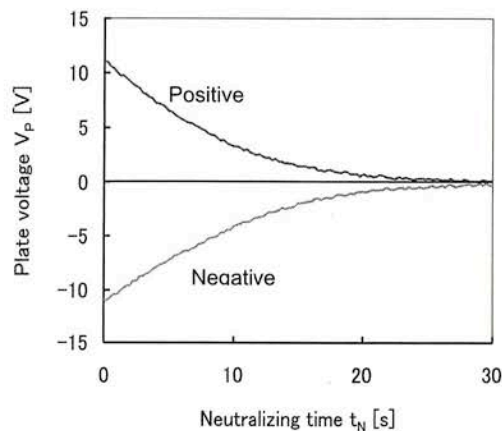


図 8 プレート電圧の時間変化 (初期電位 ± 11 V)

このことから、半導体集積回路の製造上、要求される最終到達電位が ± 1.0 V 以内であっても、ここで提案した静電気除去システムを用いることによりこの要求を満たす

ことが可能であると思われます。これは、半導体集積回路の製造上、画期的なことです。

3-3 まとめ

筆者らは、新たな静電気除去システムを提案しました。このシステムはコロナ放電型イオナイザ、制御装置、コントロールリング、イオンバランスセンサから成り、非常に簡素な構造にもかかわらず最終到達電位を ± 1.0 V以内に維持することができました。

結果は、以下の通りにまとめられます。

- 1) 制御装置を動作させた場合、最終到達電位は ± 1.0 V以内でした。一方、制御装置を動作させなかった場合、最終到達電位は250 V程度でした。
- 2) ± 10 Vから ± 1.0 V以までプレート電圧を減衰させるために必要な時間が、およそ20秒であることがわかりました。
- 3) 静電気除去制御システムは、将来の半導体集積回路（ナノサイズ）の製造工程プロセスに有用であると思われます。

以上この節では、イオナイザについて、実際の開発事例の概略を易しく解説したつもりですが、いかがでしたでしょうか。定性的、直感的にでも理解していただけたら幸いです。今日も半導体集積回路の製造現場では、静電気との戦いが静かに繰り広げられていることでしょう。筆者らの開発した装置が少しでも役に立てればと思っています。

4. 終わりに

これまで、半導体集積回路に代表される最先端電子部品を静電気から守る、という観点で述べてまいりました。その意味で静電気は「悪役」でした。他にも、着火、電撃、など悪役として登場する場面がいくつかあります。しかし静電気は、私たちの生活の中で大いに役に立つ場面もあることを紹介してこの稿を終わることにしましょう。

静電吸着を積極的に利用しているものといえば、身近にはコピー機、プリンターが挙げられるでしょう。トナーという黒い炭素の粉を静電気ですべて紙に吸着させて焼き固めています。また、埃を吸着する静電集塵も空気清浄機で使われています。

半導体メモリも電荷の蓄えがあるかどうかで記憶をさせているわけですから、これも静電気の活用といえるでしょう。また、撮像素子であるCCD（Charge Coupled Device、電荷結合素子）も、その名が示すとおり、光により電荷を発生させ、保持、転送することにより撮像を可能にしています。製造中には静電気に弱い半導体メモリやCCDが、当の静電気ですべて記憶を保持している、というのなかなか皮肉なものですね。

静電気というのはとても身近な物理現象です。家庭にある材料をうまく使って子どもたちの興味を引く実験もたくさん考えられるのではないのでしょうか。この後の実験講座も是非楽しんでください。

参考文献

- [1] S. Kusakari, K. Okano: "Contamination control of a corona discharge air ionizer", IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing, San Jose, CA, U.S.A., pp.483-486.
- [2] H. Imazono, T. Terashige, K. Okano: "The Double Jet Ionizer for ULSI Manufacturing Process", IEEE Trans. Semiconductor Manufacturing, Vol. 15, No. 2, 2002, pp.189-193.
- [3] T. Terashige, D. Ohashi, K. Okano: "Characteristics of low noise air ionizer for LSI inspection process", EOS/ESD Symposium, Charlotte, NC, U.S.A. ,2002, pp240-244.
- [4] S. Nagao, T. Terashige, K. Okano: "Effect of space charge generated by air ionizer on noise in electric devices and/or electric circuit", 3rd ECS International Semiconductor Technology Conference, Shanghai, China, 2004, pp.57-63.
- [5] K. Tokuhiko, M. Sakuyama, K. Okano: "Static elimination characteristics of the soft X-ray air jet ionizer with control grid", 3rd ECS International Semiconductor Technology Conference, Shanghai, China, 2004, pp.547-554.
- [6] M. Sakuyama, M. Takeuchi, T. Terashige, S. Yoshioka, K. Okano, "Development of Ion Balance Sensor by using MOSFET", EOS/ESD Symposium, Tucson, AZ, U.S.A., 2006, pp235-239.
- [7] T. Tanabe, N. Simon, T. Terashige, K. Okano, "Noise Characteristics of MOSFET Ionizer Balance Sensor", EOS/ESD Symposium, Anaheim, CA, U.S.A., 2007, pp238-241.

実 験 教 室 1

静電気で遊ぼう

広島市立広島工業高等学校
池永 寛

静電気で遊ぼう

広島市立広島工業高等学校 池永 寛

1. はじめに

リフレッシュ【refresh】気分をさわやかに一新すること。生気を与え、元気づけること。
(広辞苑)。すなわち、気分をさわやかに一新し、元気づける理科教室なのだと思います。
今回は、普段静電気の授業をする中で、生徒に特に好評なものを選んでみました。
静電気で遊んで、ともにリフレッシュしたいと思います。

2. 静電気と遊ぶ ～見えないものを見る～

「電気が苦手」という生徒は結構多いものです。それは、「電気は見えない」からイメージがつかみにくいのだと思います。「電流は電子の流れである。」などと言っても、なかなかイメージがわかないものです。さらに「電流の向きは、電子の流れとは反対向きである。」などと言われても、なおさら混乱するだけなのです。

したがって、電気の学習の中では、実験が大きな意味を持つことになると思っています。実験をすることで見えない電気が見えるようになるのではないかと思うのです。そこに面白さと理論が加われば、電気はイメージしやすくなると思うのです。

今回はそうした電気が見えるような実験を紹介するとともに、一緒に楽しんでいきたいと思っています。

3. 静電気

静電気とくに摩擦電気を中心に、少し復習をいたします。
今日だけは生徒になって、勉強することを楽しんでください。

① 電気の種類

電気には、() と () の2種類がある。

② 摩擦電気：摩擦によって生じる電気

物体と物体をこすりあわせると、静電気が発生する。
電気を帯びることを() という。

(例) ガラス棒と絹の布 → ガラス棒の電気 + 帯電
エボナイト棒と猫皮 → エボナイト棒の電気 - 帯電

→ 電気のやりとりの前後で電気の総和は変わらない：電気量保存の法則
→ () が移動することで摩擦電気が発生する。

(例) 塩ビ棒とティッシュペーパー

→ 塩ビ棒の電気 : - (マイナス)
ティッシュペーパーの電気 : + (プラス)

(例2) アクリル棒とティッシュペーパー

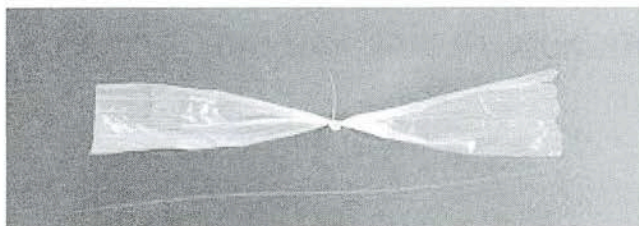
→ アクリル棒の電気 : + (プラス)
ティッシュペーパーの電気 : - (マイナス)

③ 静電気力

静電気力 : 同種の電気は () : (力)
異種の電気は () : (力)

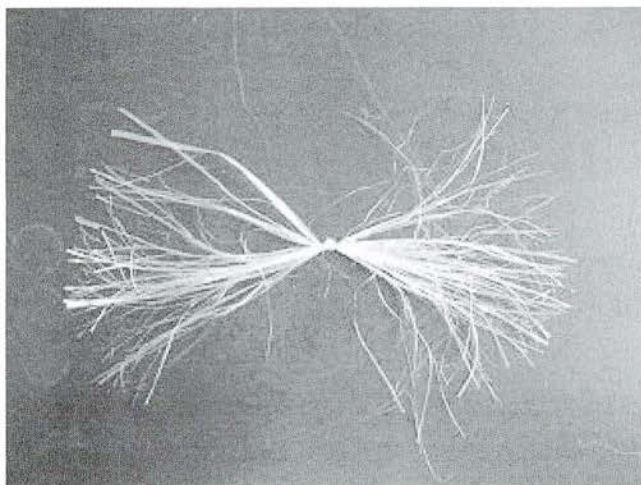
実験 電気くらげをつくって遊ぼう

- ① 約10cmの荷造り用のビニールテープを用意します。
- ② ビニールテープの半分のところ(両端から約5cmの位置)を「団子結び」にします。



- ③ 「剣山」や「くし」などを利用してビニールテープを幾重にも裂いてきます。
手を使って裂いてもよいのですが、手あか・汗などがつかないように注意してください。

- ④ 「電気くらげ」完成



- ⑤ ティッシュと塩ビパイプ、ティッシュと「電気くらげ」をこすり、塩ビパイプと「電気くらげ」を帯電させます。塩ビパイプ、電気くらげともに「マイナス」に帯電しています。
- ⑥ 電気くらげを空中に「えい！」と投げ上げ、塩ビパイプでバランスをとりながら、「電気くらげ」を空中に浮かせます。

実験のポイント

- パイプのこすり方
意外に必要なのが、パイプとティッシュのこすり方。
ティッシュは動かさずに、パイプの方を動かした方がよいような気がします。
- 電気くらげの投げ上げ方
結構コツが必要です。できるだけ身体から離れるように上の方へ投げ上げてください。
- バランスの取り方
慣れれば簡単ですが、塩ビパイプのどのあたりがバランスがとりやすいか調べてみてください。
- その他
うまく浮かせておくためには、結構いろんなコツが必要です。
練習あるのみ！ 見本の演示実験は、プロフェッショナルであるべし！？

実験するときの注意点

中学生以下が実施するときは、塩ビパイプよりもペンシルバルーンなどを使った方がよいでしょう。一所懸命追いかけていると、怪我のもとになります。

4. 静電誘導

「見えない電気」は金属などの導体の中を動いています。

その動きの面白さと、理論（説明）で「電気が見える」ようになりますように。

() : 電気を流すことができる物体

() : 電気を帯びた物体

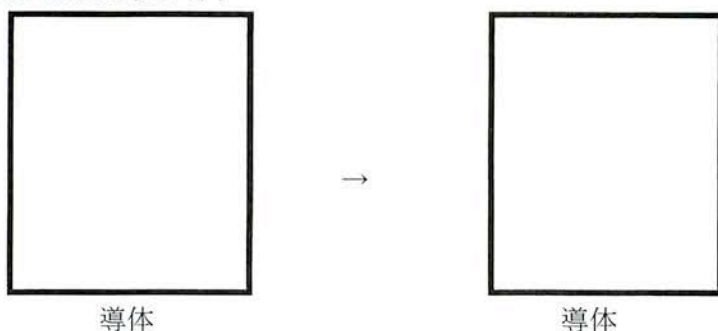
① 静電誘導の考え方

(1) すべての物質の中に、正電荷 (+)、負電荷 (-) が等量存在する。

(2) 導体中は正負の電気は自由に動ける。

(3) 同種の電気は反発

異種の電気は引き合う



実験 はく検電器で遊ぼう

はくとは薄い膜である「箔」です。

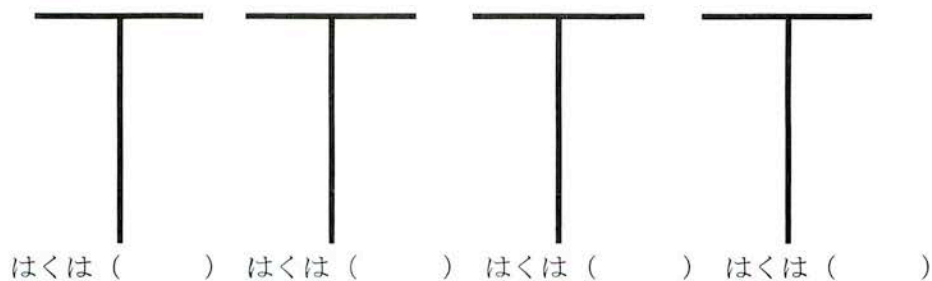
静電誘導により、はくが開いたり閉じたりします。

電気の動きを実感できる実験道具です。

はく検電器のアルミニウムでできた箔と、金属板の電気の動きを考えてみましょう。

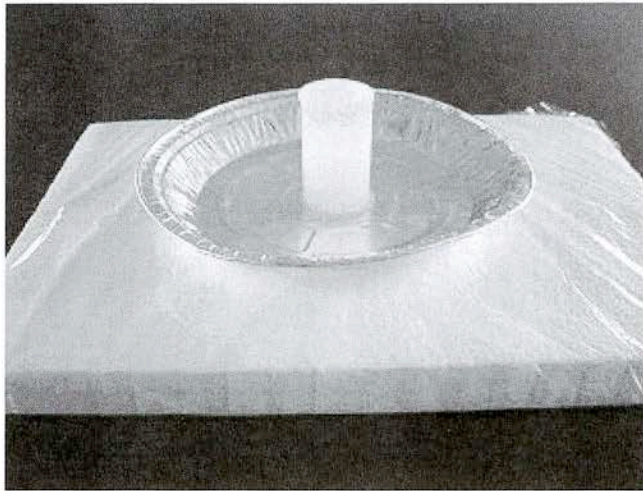


(例)

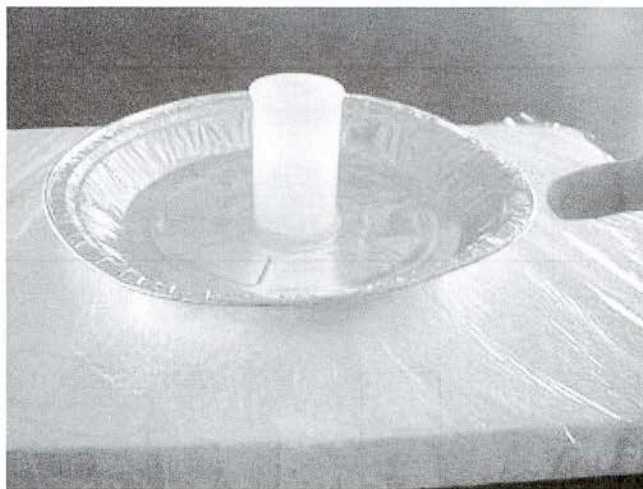


実験 起電盆で遊ぼう

発砲スチロール板、ラップ、フィルムケース、アルミ皿だけで作った簡単な起電盆を使って、静電誘導を「体感」してみましょう。



- ① 発砲スチロール板上に貼ったラップ（サランラップ）をティッシュペーパーでこすり、ラップを帯電させる。
- ② ラップの上にアルミ皿を置く。
（アルミ皿に手が直接触れないように、フィルムケースの取っ手を持つこと。）
- ③ アルミ皿のふちにそっと指で触れる。 → ぱち！
（指先で触れるよりは、指の節などで触れる方がショックが小さい。）



- ④ ラップからアルミ皿をはなす。
（アルミ皿に手が直接触れないように、フィルムケースの取っ手を持つこと。）

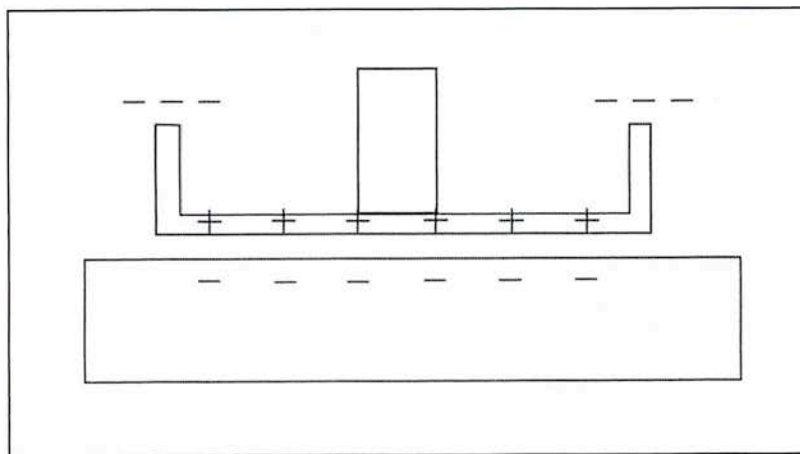
- ⑤ アルミ皿のふちにそっと指で触れる。 → ぱち！
- ⑥ 再び②～⑤を繰り返す → ぱち！ ぱち！ ぱち！
- ⑦ 指のかわりに「ネオンランプ」で②～⑤を繰り返す。 ぱち！ ぱち！ ぱち！
「ぱち！」というときの光る位置が違うことを観察してください！

【豆知識】 ネオンランプの光った側がマイナスに帯電しています。

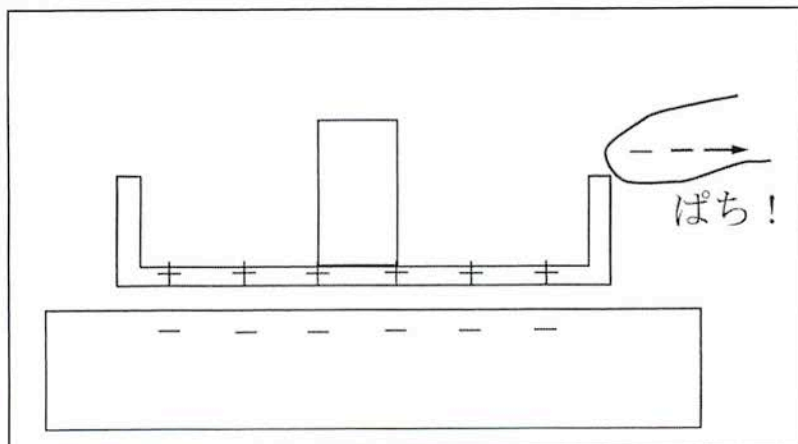
説明 起電盆の理論

起電盆は、「静電誘導」を利用した実験です。

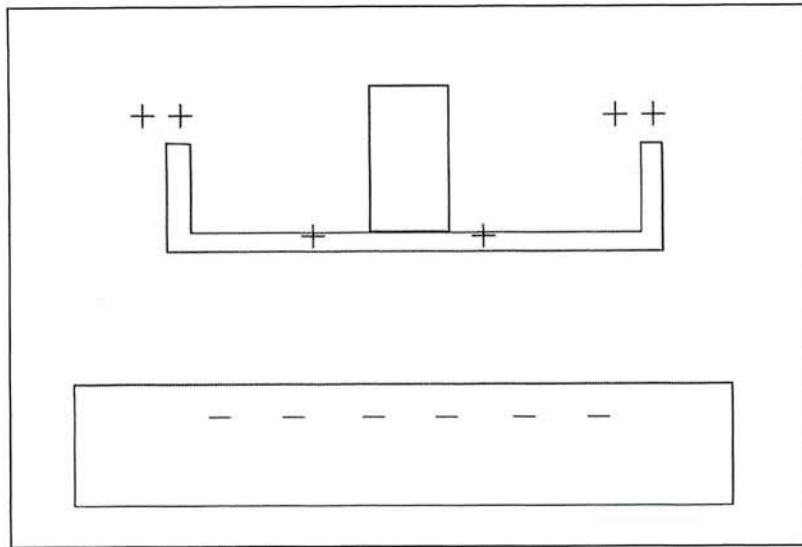
- ① サランラップはマイナスに帯電しているので、アルミ皿の底はプラスが引き寄せられ、アルミ皿の縁にはマイナスが現れます。



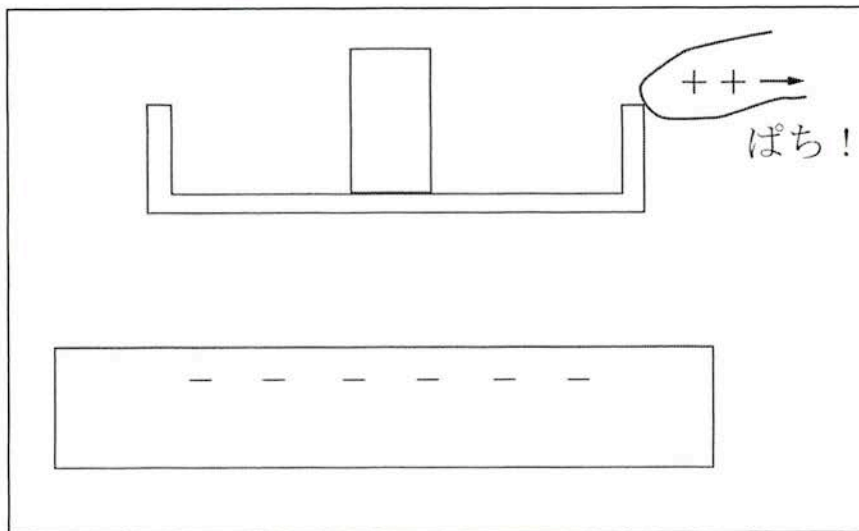
- ② ぱち！で縁であったマイナスの電荷が指を通して逃げます。
このとき、アルミ皿の底はプラスが引き寄せられたままです。



③ アルミ皿をラップからはなすと、プラスの電荷が反発しあってアルミ皿に広がります。



④ ぱち！でプラス電荷が指を通して逃げます。



⑤ 指をはなして、ラップの上におくと、①へ戻ります。

電気の違いをネオンランプを使って調べてみましょう。

ネオンランプの光った側がマイナスに帯電しています。

サランラップが帯電している限り、ずっと遊ぶことができます。

実験するときの注意点

- ・ペースメーカーなどを装着している場合、誤作動が起こる場合があります。静電気の取り扱いには注意しましょう。
- ・本人が望まない場合には、無理に静電気の実験を行わせないようにします。
- ・驚いた拍子に怪我などをすることもありますので、取り扱いには気をつけましょう。

実験 電気ふりこで遊ぼう

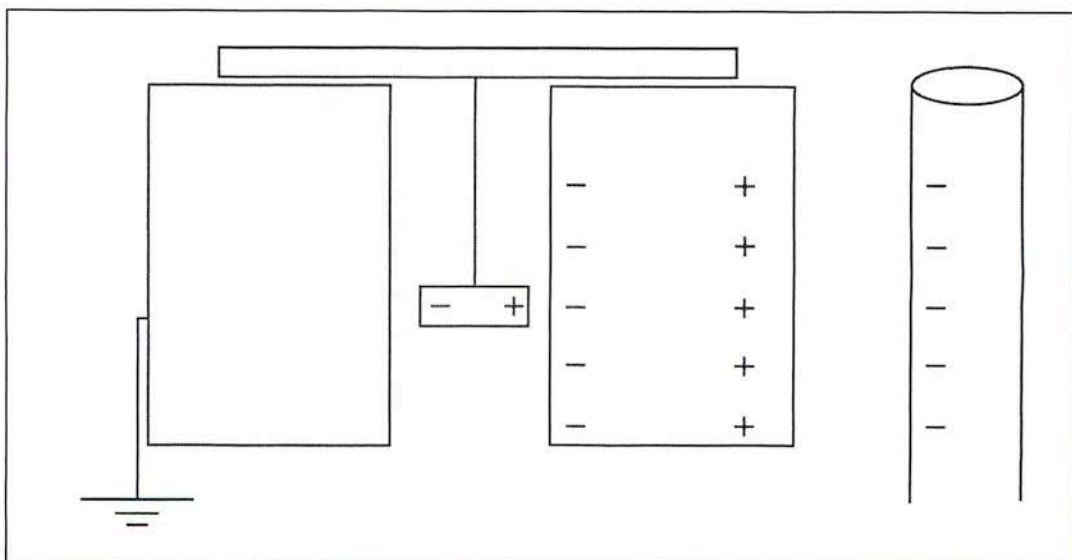
空き缶、アルミホイル、画鋲などで作った電気ふりこで遊んでみましょう。
電気の移動とともに動きがあっておもしろいおもちゃです。



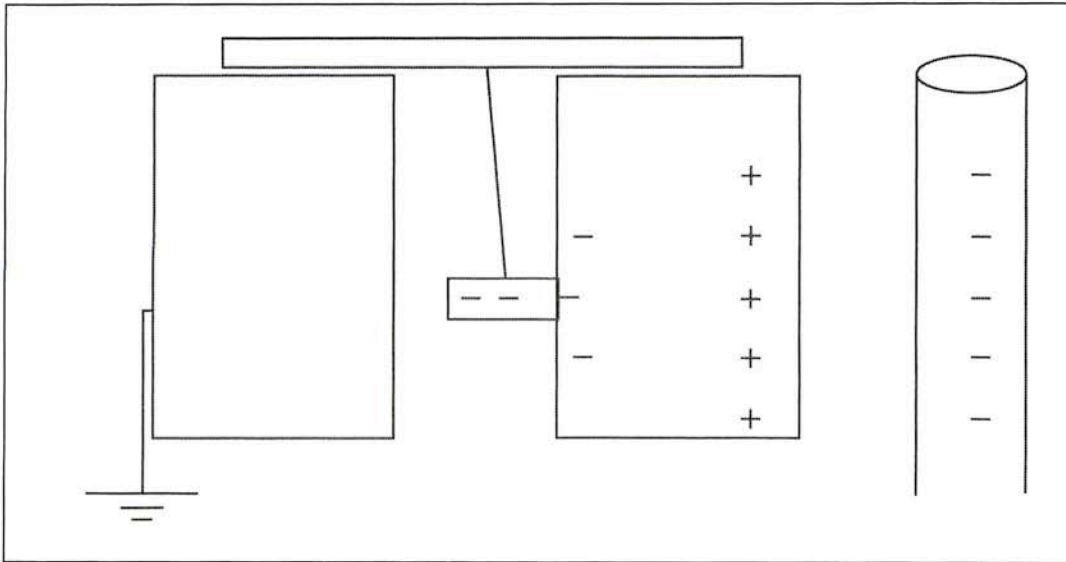
- ① 塩ビ棒とティッシュをこすって、塩ビ棒をマイナスに帯電させます。
- ② マイナスに帯電させた塩ビ棒を、アースしていない空き缶に近づけます。
すると、画鋲はカチカチと動き始めます。

説明 電気ふりこの理論

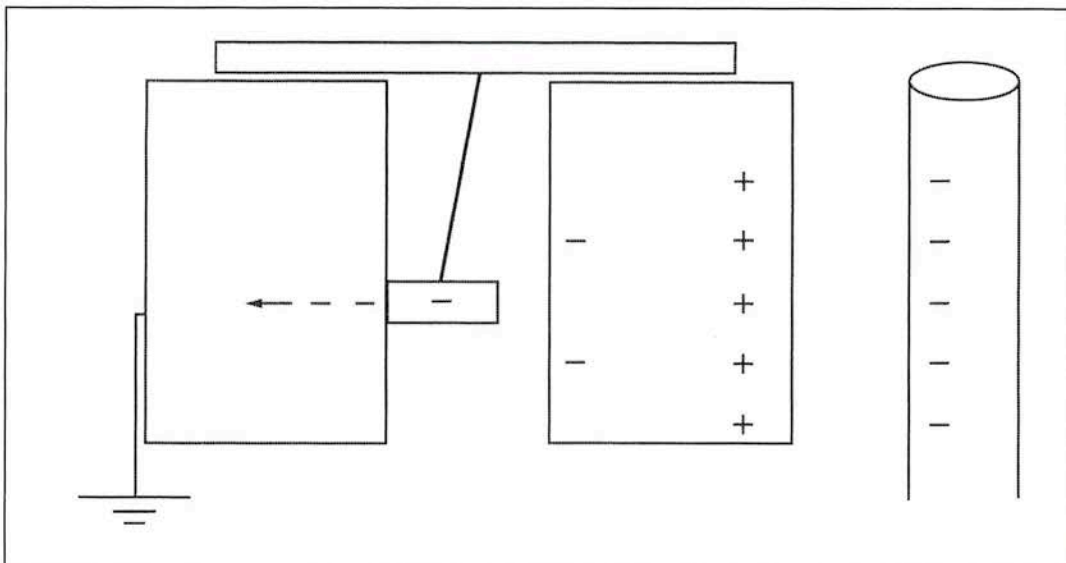
- ① マイナスに帯電した塩ビ棒を空き缶に近づけると、静電誘導により、塩ビ棒側がプラスの電荷が、反対側がマイナスの電荷が現れます。
画鋲も同じように静電誘導により、空き缶側がプラス、反対がマイナスが現れます。



- ② 画鋏が空き缶に引き寄せられて、空き缶にかち！と触れます。
このとき、マイナスの電荷が画鋏に移動します。



- ③ 反対側の空き缶にかち！とぶつかると、マイナスの電荷は、空き缶に移動し、また元に戻っていきます。
空き缶に移動したマイナスの電荷は、アースを通して地面などに逃げていきます。



- ④ 帯電している空き缶に戻ってかち！とぶつかり、マイナスの電荷をもらって、反対の空き缶に移動します。あとは、②からの繰り返しです。
帯電している空き缶の電気が移動し終わるまで運動を続けます。

5. 起電盆を作ろう

先ほど遊んだ「起電盆」の作成を試みましょう。

やってみると意外と簡単！です。これなら班の数だけつくるのも簡単です。

今日はそのコツをつかむために、一つ起電盆を作成してみましょう。

ネオンランプと一緒に持ち帰っているいろいろと遊んでみてください。

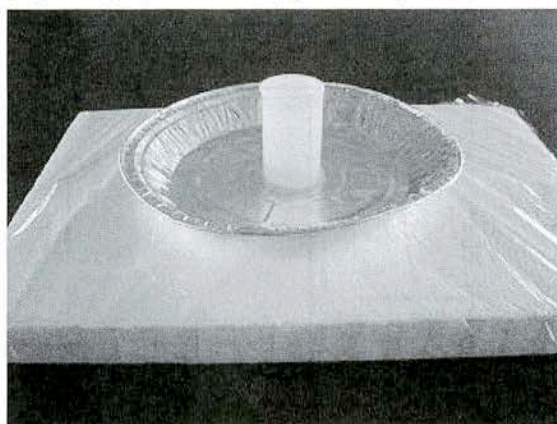
① 準備物

- ・発砲スチロール板（電気を通さないものならば、他のものでもOKです。）
- ・ラップ（「サララップ」が最適です。）
- ・アルミ皿1枚（100円ショップで7枚セット100円で売っています。）
- ・フィルムケース（写真屋さんと言えば、手に入りますが、デジタルの普及で、最近は手に入りにくくなりました。プラスチックコップでもOKです。）
- ・ホットボンド

② 作成方法

(1) 発砲スチロール板にラップを巻き、セロハンテープで固定する。

(2) アルミ皿の中心付近にホットボンドを使ってフィルムケースを取り付ける。



完成図

作成の注意点など

- ・ホットボンドの先が熱くなっていますので、やけどに気をつけてください。
- ・ガスバーナーなどでホットボンド自体をあたためると簡単に利用することができます。
- ・ラップはしばらくおいておくと帯電しなくなります。時々新しいものに取り替えてください。

6. さいごに

「実験を楽しむこと」それがリフレッシュにもつながります。授業をする側が楽しければ、生徒も結構楽しんでくれます。（きっと・・・。時にはうまくいかないけれど、そこでくじけない・・・。）今日のリフレッシュ教室が皆さんにとって、本当のリフレッシュになっていればと思います。

実 験 教 室 2

振り子の達人になろう

呉市立内海小学校
大藤 幸雄

振り子の達人になろう

呉市立内海小学校 大藤 幸雄

振り子の運動

右図のように、振り子は、おもりの重力 mg と糸の張力 S との合力として中心に引き戻される復元力を受け、振動を続けます。

このときに、フックの法則による弾性力のように、復元力の大きさが、角度 θ に比例する場合には、正確な単振動となり、周期は振幅によらず一定になります。

しかし、実際には、 $mg \sin \theta$ に比例するので、 θ が小さいときはよいのですが、 θ が大きくなると、力は少し小さめになります。従って、戻ってくるのに時間がかかるようになり、周期が大きくなることが予想されます。実際、計算すると、

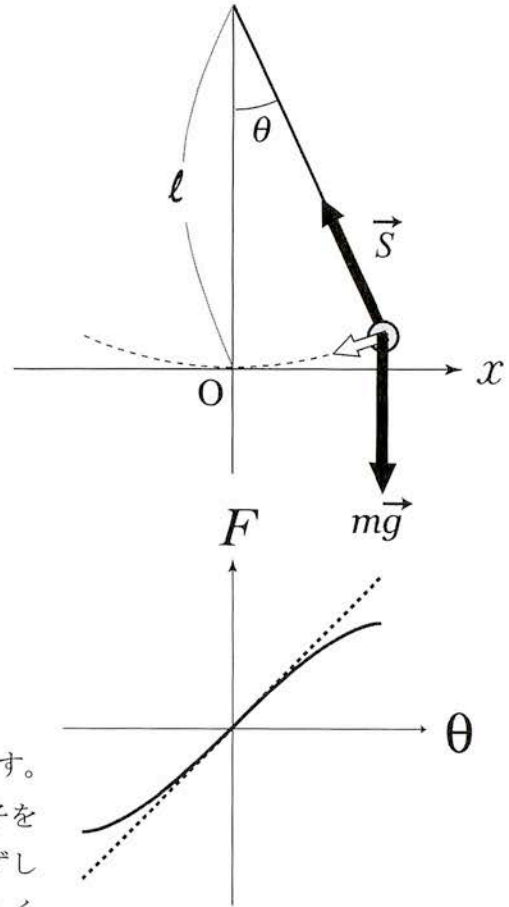
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\lambda}{g} \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\theta_0}{2} + \frac{9}{64} \sin^4 \frac{\theta_0}{2} + \Lambda \right)}$$

となり、 θ_0 が大きくなると周期も長くなることが分かります。

最近のデジタルストップウォッチで計測すると、振り子を振る角度によって周期が違う結果は得られるものの、必ずしも上記の計算どおりにはなりません。おもりや糸にはたらく空気抵抗や糸を固定している上端が滑らかに曲がらずに曲げをもどそうとする別の復元力もはたります。糸がよじれる影響もあり、最初は平面内の運動をしていても、少しずつ向きが変わったり、楕円のような軌道に変わることもあります。重いおもりを使うと糸が伸びて長さが変わることもあります。これらのいろいろな影響のため、単純な答えにはなりません。

しかし、そこまでの細かいことを言わなければ、周期がおもりの質量によらず、長さだけでほとんど公式どおりの結果が得られます。上の括弧の中がどのようになるか計算結果は表のようになります。35度になると1割くらい変化します。

では、周期の測定精度はどのくらいでしょうか。ストップウォッチを押すタイミングのずれを0.3秒としてみます。10往復を3回平均することで30分の1の精度にできたとしますと0.01秒程度です。25cmの振り子だとほぼ1秒程度の周期ですので、約1%の精度で測定できることになります。ということは、振らす角度は約10度以内でなければ計算と合わないことになります。また糸の長さの精度も25cmの1%の精度で測定するには、3mm以内の精度でなければなりません。gの値は、9.8を使うと0.5%以下なので大丈夫ですし、 π の値も、3.14とすれば0.05%の誤差なので大丈夫です。



θ_0	()の中
0	1.000
5	1.002
10	1.008
15	1.017
20	1.031
25	1.050
30	1.073
35	1.102
40	1.137
45	1.180

結局、糸の長さやストップウォッチを押すタイミングが重要だということが分かります。また、数え間違えると 10% 違ってきますので、これも大きな問題となります。

連成振り子の運動

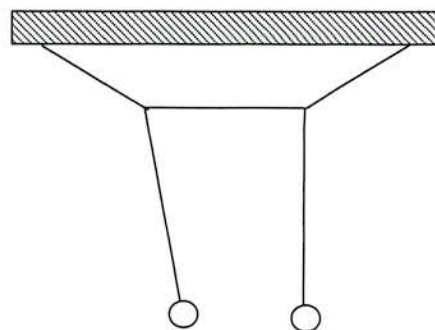
図のように長さの同じ振り子を二つ吊るし、それらを糸でつないだものを連成振り子といいます。お互いに、相手の影響を受けるようになっているため、一方を止めた状態で他方を振らすと、しばらくすると、両方が同じくらいに振動するようになると錯覚しますが、実際には、動いていた方が止まり、止っていた方が振れている状態になります。

それぞれの振動は、両方が同じ向きに振れる振動と逆向きに振れる振動 θ_- の足し算で

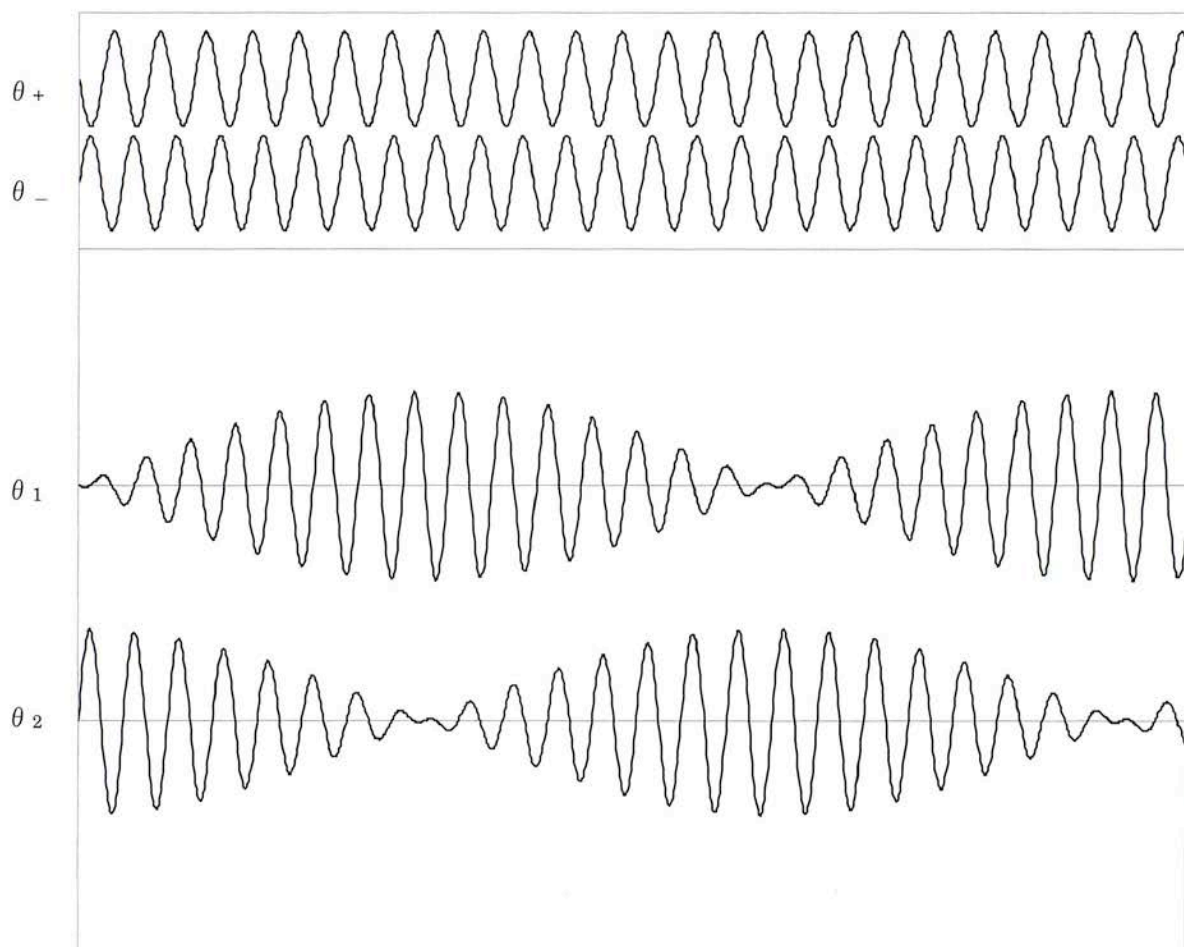
$$\theta_1 = \theta_+ + \theta_-$$

$$\theta_2 = \theta_+ - \theta_-$$

と書けるのですが、 θ_+ の振動と θ_- の振動は、ほんの少し周期が違ってくることになるため、うなりを生じたような振動パターンになります。下の図のように、交互に振れる運動をすることになります。



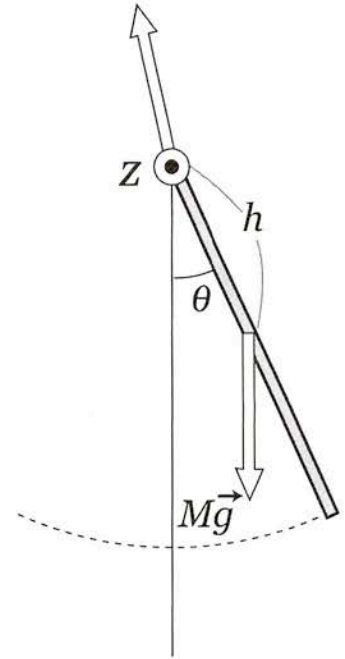
θ_2 θ_1



実体振り子

一様な棒を、端を軸として吊り下げ、振り子とすることができます。この周期については、重心までの距離 h を長さと考えて単振り子と同じ公式が使えるとするのは間違いですので注意が必要です。速度の2乗に比例する運動エネルギーは軸から遠い部分の方がずっと大きいため、平均は重心より少し遠めになり、ちゃんと計算すると、全長の3分の2の長さの単振り子と同じ振動をすることが分かります。

一様な棒ではなく、箒やフライパンなどを振ってみましょう。やはり、長さが長いものの方が周期は長い傾向があります。あまり、細かいことを言わずに、全長と周期の関係を測定してグラフにしてみると、右上がりの結果が得られるはずですが、長さが長いと質量も大きくなる傾向があります。重いほど周期が長いという結果も得られそうです。ちゃんと調べるには、長さが同じで質量が違うものとか、質量が同じで長さが違うものとかを準備しなければなりません。



黒板提示用電気回路キット の製作と利用

江田島市立能美中学校

八川 慎一

NPO法人三次科学技術教育協会

高味 俊雄

修道中学・高等学校

中高下 亨

黒板提示用電気回路キットの製作と利用

江田島市立能美中学校 八川 慎一
NPO法人三次科学技術教育協会 高味 俊雄
修道中学・高等学校 中高下 亨

授業を行う上で、黒板をどのように活用するか、教員の誰もが工夫することだと思います。また、演示実験において、どのように提示すれば、子どもたちにとってわかりやすくなるか、最も思案しなければならないはずです。

電気回路に関して、豆電球と電池を使った実験は、小学校及び中学校で設定されています。

ここでは、黒板に貼り付けて演示実験できる黒板提示用電気回路キット（電池ボックス、豆電球台）を製作します。

黒板に貼り付けて演示実験できる電気回路キットを製作しよう！

《 教材製作のポイント 》

◎ 実験説明用

⇒ できるだけ生徒が使うものと同じものを使用する方が、
子どもたちはとまどわない。

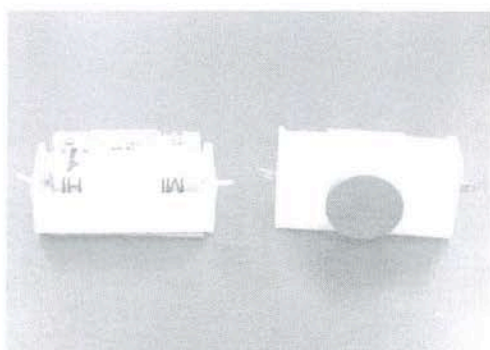
生徒が使う実験器具と同じものを提示しよう！

◎ 現象説明用

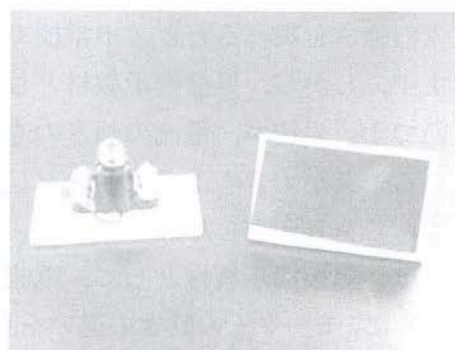
⇒ **大きくインパクトのあるものを活用しよう！**

《 作成する教材「黒板用電気回路キット」 》

【 電池ボックス2個 】



【 豆電球ソケット2個 】



《 教材作りのために 》

【 材料の入手 】

◎ 磁石に関して

磁石の特性を理解しよう！！

市販されている文具用の用いられているフェライト磁石の多くは、左右にN・Sが着磁されており、磁力が弱いものが多いようです。注意して利用しましょう。

身近にあるネオジウム磁石の大部分は、上下にN・Sが着磁されています。

安価に入手するには

※ 100円ショップを利用

ネオジウム磁石を安価に手に入れることができます。

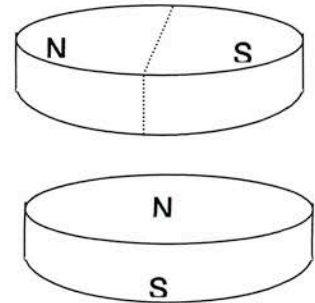
ただし、最近、商品が減ってきています。

※ 大量に用いるなら（生徒実験を行うために）

インターネット通信販売を利用する。

<http://www.rakuten.ne.jp/gold/magnet/>

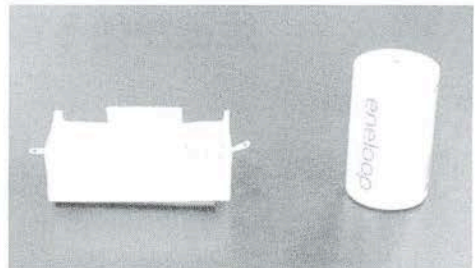
<http://www.26magnet.co.jp/webshop/>



など

◎ 電池と電池BOX

生徒実験では、単1電池を用いることが多く、ゴム磁石では、重すぎて落ちてしまうことがあります。そのため、磁力の強いフェライト磁石を用いる方がいいでしょう。また、最近では、単3電池を単1・単2電池に変換するスペーサーが販売されていますので、教材の軽量化のために利用してもよいでしょう。

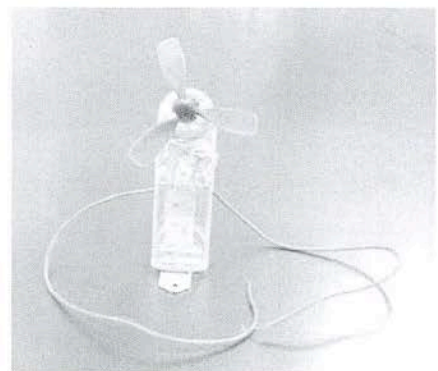


◎ モーターを用いた教材

電流の強さを調べる時、中学校では電流計で調べます。しかし、黒板提示教材としての活用は難しいです。生徒が、電流の強さの違いを一目でとらえることができるようなものとして、豆電球以外のものを考えました。

これは、黒板掲示教材として、電流の強さを調べるために、モーターの動きの違いを利用します。

モーターを利用するとなると、モーターBOX・リード線などが必要になりますが、100円ショップの電動歯ブラシや扇風機に、ちょっとした工夫を施すだけで有用な教材をつくることができます。



◎ ターミナルとリード線

並列回路を組み立てるとき、ターミナルを用いると、回路の形をとらえやすくなります。黒板提示用回路でも、ターミナルは必要ですが、リード線の重みによって、思いの外、負荷がかかってしまいます。そのため、少し強めの磁石を用いた方がいいようです。

配線するリード線の長さは重要です。黒板用回路では、リード線の弛みによって、回路のようすがわかりにくくなるので、各部品配置とリード線の長さ工夫して、授業で活用すべきです。また、リード線の重みによって、ワニ口クリップがはずれてしまうこともよくありますので、電池BOXから出すリード線は、はんだ付けしておくとういでしょう。

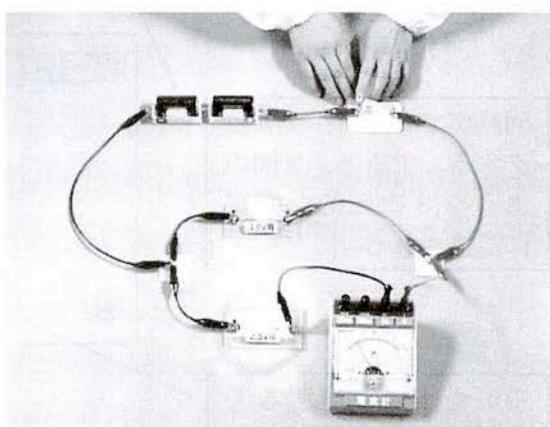
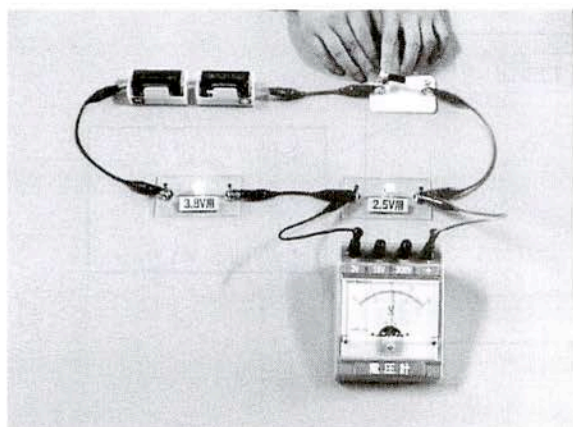
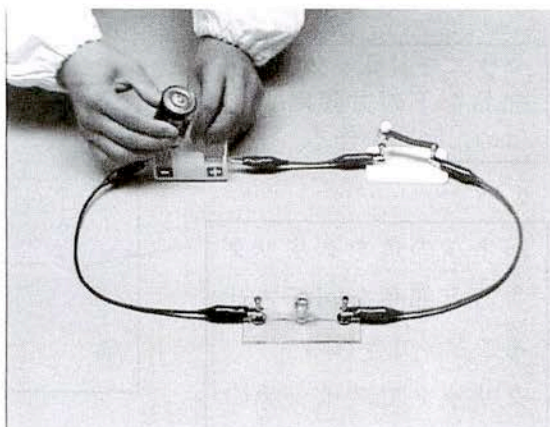
《 付 録 》

中学校第1分野 「電流とその性質」における、マルチメディア教材を配布します。授業に活用して頂ければ幸いです。

1. 模擬実験映像

中学校で学習する実験映像を収録しています。実験方法の説明、実験中に連続再生させるなど、生徒実験の際に、役立つと思います。

電池の並列回路は収録されていませんが、回路の組み立て練習として、電池・豆電球・スイッチ1つずつの基本回路が収録されていますので、利用できると思います。



2. 3次元電気回路シミュレーター

(1)教材の概要

- ・ フリーソフト。広島大学のHP上で操作可能
<http://ph1.ed.hiroshima-u.ac.jp/~physics/>
- ・ パソコンの画面上で、電流は水の流れ、電圧は高低差で表される。

(2)教材使用のねらい

3次元で電流のモデルが表示されるシミュレーターを使い、電流のイメージをつかませる。

(3)活用の実際及び効果

- ・ 単元のまとめとして生徒にシミュレートさせる。
- ・ 電流は目に見えないために生徒にとってイメージがつかみにくいが、電流は水の流れ、電圧は高低差で表されるシミュレートを行い。イメージをつかませることができる。
- ・ また、生徒が自由に回路を創造し、シミュレートできる利点がある。

(4)使い方

マウスでほとんどの操作が行える。

マウスでドラッグし、各部品を下の方眼に当てはめ、回路を作る。

この部分に回路をつくる。

パネルの角をクリックすると部品を回転させることができる。クリックでスイッチのオン・オフの変更、ダブルクリックで電気抵抗

簡単な説明が出てくる。

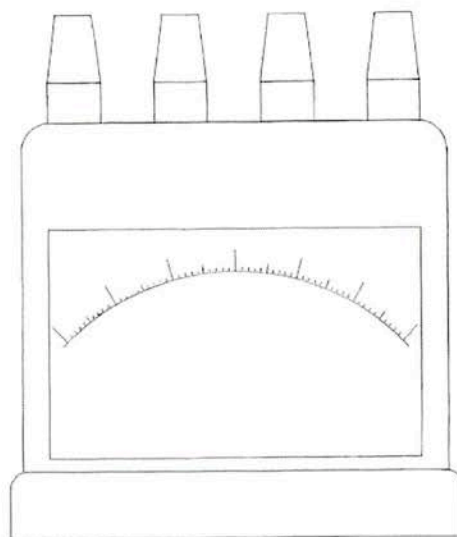
不必要なパネルを捨てる。

回路ができたなら、クリックする。すると、下図のような3次元的な回路に変換される。

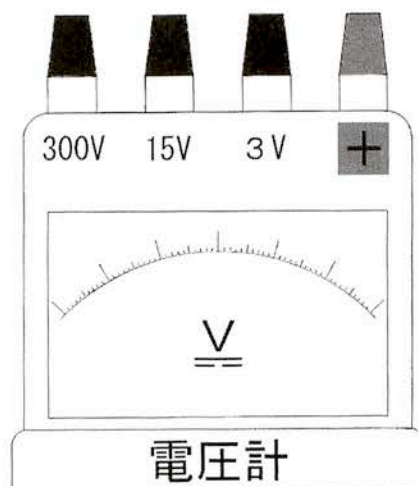
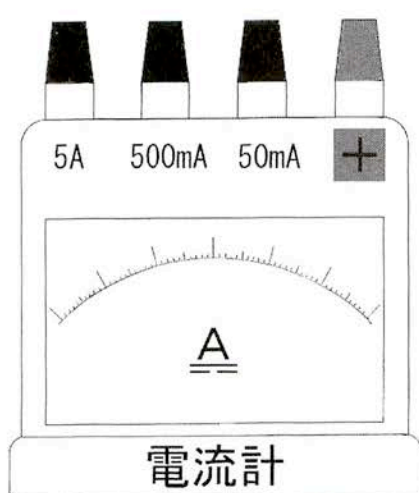
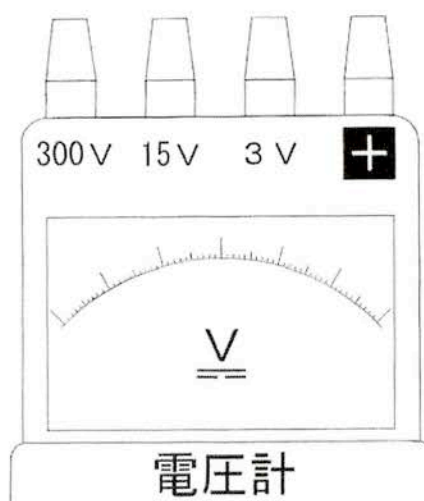
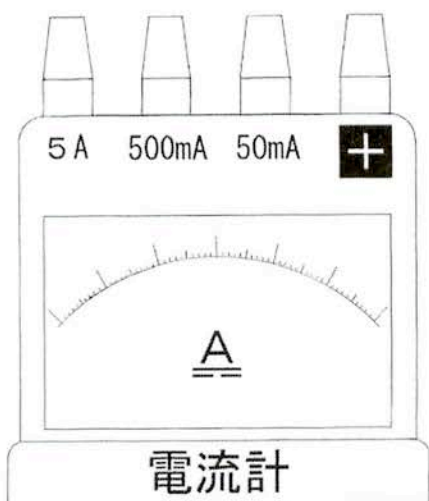
条件の設定など
・ 回路図を消す。
・ 水流を隠す。

中心をドラッグすると移動でき、端だと回転させることができる。

(黒板提示に活用する電流計・電圧計の図)
(自由に文字などを記入できる図)



(それぞれ記入した例)



関係者氏名

(社) 応用物理学会・教育・公益事業委員会委員長

渡辺 和雄 (東北大学金属材料研究所)

(社) 応用物理学会中国四国支部・支部長

上浦 洋一 (岡山大学大学院自然科学研究科)

実行委員会

委員長 前原 俊信 (広島大学大学院教育学研究科)

委員 池永 寛 (広島市立広島工業高等学校)

大藤 幸雄 (呉市立内海小学校)

柴 一実 (広島大学大学院教育学研究科)

高味 俊雄 (NPO 法人三次科学技術教育協会)

蔦岡 孝則 (広島大学大学院教育学研究科)

寺重 隆視 (広島国際大学工学部)

中高下 亨 (修道中学校・修道高等学校)

八川 慎一 (江田島市立能美中学校)

原田 二郎 (東広島市立黒瀬中学校)

(実行委員はアイウエオ順)

第11回 応用物理学会 中国四国支部広島会場
「リフレッシュ理科教室」テキスト

発行日 平成20(2008)年8月4日(月)

発行者 「リフレッシュ理科教室」(中国四国支部広島会場) 実行委員会

編集 前原 俊信

印刷 (株)ニシキプリント

広島市西区商工センター7丁目5-33

ISBN 978-4-903968-37-7