



## 目的

本研究では、対象を静電気の領域とし、物体の帯電の極性（正・負）を明らかにする静電気チェッカーを製作した。帯電体の電荷が正であれば赤色のLEDが点灯し、負であれば緑色のLEDが点灯する。ハンダ付けをしたことがある人なら簡単に自作できるよう工夫した。

静電気チェッカーを用いた演示実験と発問を組み合わせることにより、生徒の思考を促し、電子の移動をより明確に示し、帯電のしくみについて深く理解させることをめざした。

## 概要

高校物理の授業において、物理量の「可視化」による授業改善の研究がよく行われる。すなわち、物理量は間接的にとらえることが多いのである。例えば、力・エネルギー、電波、電圧・電流、電界・磁界、放射能・放射線などは、直接目で見ることはできない。力は見えていそうだが、力そのものは見えてはいない。力が働いた結果、物体が変形したり、物体の運動状態が変化したりすることから、力の存在を認識することができる。電圧・電流は電圧計・電流計を用いたり、電球が光る、モーターが回るといった現象で知ることができる。このように、間接的に扱うことが多い物理量は、授業で物理現象を学習するときに、生徒の根本的な理解を妨げていることがある。

私は、これまで、物理量の可視化の実践として、各種センサーを用いた教材を開発し、授業で活用し、生徒の理解を促す工夫を行ってきた。下にいくつか例を示す。

- 音センサー（自作）
- 光センサー（自作）
- 磁場センサー（キットを利用）
- 放射線カウンター（キットを利用）
- 静電気チェッカー（今回の製作物）

特に、電気の領域では、現象の多くが電子の動きで起こるため、間接的にしか見ることができない。また、現象が起きるしくみも、見えない電子の動きを、推測しながら理解していく必要がある。静電気の発生に関

しては、はく検電器を用いて確認することができるが、発生した静電気の正・負を直接示すことができない。本研究では、先行研究<sup>1), 2), 3)</sup>を参考にし、いくつかの改良を施して、使いやすく安定して動作する装置を製作した。本装置があれば、正電荷と負電荷を簡単に識別することができ、電子の動きを思考し、結果を明確に確認することができる。

## 教材・教具の製作方法

### I. 特徴と開発のポイント

#### 1. 本教材の特徴

帯電体に近づけると、正であれば赤のLEDが点灯し、負であれば緑のLEDが点灯する。これまで、帯電の正負を絶対的に知る教具はあまり使われていなかったが、これを用いると見えない帯電の様子を表示することができる。写真1に静電気チェッカーを使用している様子を示す。アクリルパイプをティッシュで摩擦すると正に帯電し、赤いLEDが点灯する（左）。塩化ビニル棒は負に帯電しやすい（右）。また、空き缶など導体は、他の帯電体を使って、正に帯電させたり、負に帯電させたりすることができる（写真2）。

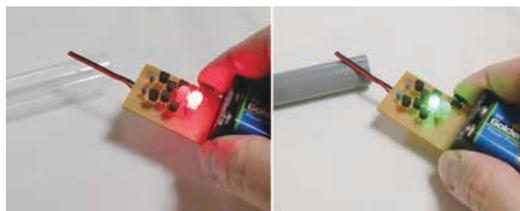


写真1 帯電体（不導体）に近づけた様子

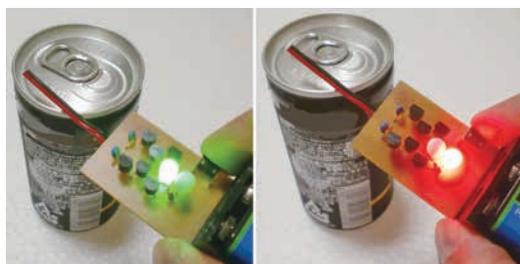


写真2 帯電体（導体）に近づけた様子

\* とくひら げんいち 沖縄県立球陽高等学校 教頭 〒904-0035 沖縄県沖縄市南桃原1-10-1

☎(098)933-9301 E-mail tokuhirg@open.ed.jp

## 2. 教材開発のポイント

本教材（写真3）の開発のポイントは次のとおりである。

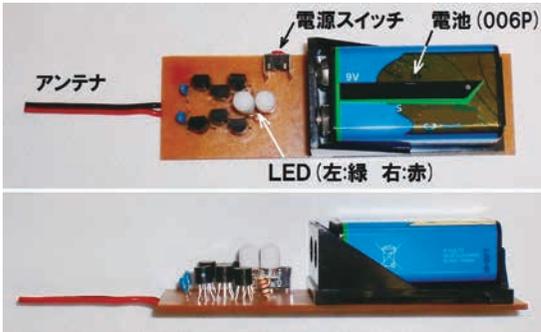


写真3 静電気チェッカーの外観

### (1) 回路がシンプルで安価

研修会等でまとめて材料を購入した場合、800円程度で製作することができる。

### (2) 基板上にすべての部品を配置

配線の引き回しがなく、ハンダ付けをしたことのある人なら、簡単に製作することができる。

### (3) コンパクトなサイズ（100×30mm）

手持ちで使えるので演示方法が多様であり、装置が手で適度にアースされ、静電気が装置にたまることを防ぎ、誤動作を防止する。

### (4) 押しボタンスイッチ

必要な時に電源をONにすることができ、帯電体から装置を遠ざけたときに逆のLEDが点灯する誤動作を防止する。

### (5) 高輝度のLEDを使用

教室の後方からでも容易にLEDの点灯を確認することができる。

なお、(3)、(4)の特徴は、静電気に関する先行研究<sup>1)、3)</sup>で指摘された課題である「天候の状態に影響される場合がある。周囲の静電気により誤動作する」、「絶縁性の高い物の上で使用すると、装置に静電気がたまり誤動作が起こる」、「正電荷をすばやく遠ざけた

ときに逆のLEDが一瞬点灯するようになる」を解決することができた。

## 3. はく検電器との違い

はく検電器で帯電体の正・負を調べるには、あらかじめ正・負が分かっている帯電体を使ってはく検電器を帯電させておき、帯電体を近づけたときのはくの動きで判断する。

<例>正に帯電させたはく検電器に帯電体を近づけたときのはくの動き

正の帯電体を近づけた場合

→はくはさらに開く

負の帯電体を近づけた場合

→はくは閉じる（さらに近づけると再びはくは開く）

はく検電器が正に帯電しているかは、一見しては分からないので、直接的に帯電の状態が分かりにくい。調査する帯電体の電荷の状態とはく検電器の電荷の状態を同時に考えなければならず、直感的に物体の帯電の状態を理解することが難しい。



図1 はく検電器

## II. 静電気チェッカーの製作

### 1. 材料

- ・トランジスタ 2SC1815、2SA1015 各3個
- ・高輝度発光ダイオード（赤・緑） 各1個
- ・LED用光拡散キャップ 2個
- ・電池ホルダ（006P、基板用）1個
- ・抵抗 1.0kΩ、680Ω各1個
- ・セラミックコンデンサー 22pF 1個、47pF 1個



図2 プリント基板パターン図（原寸大）

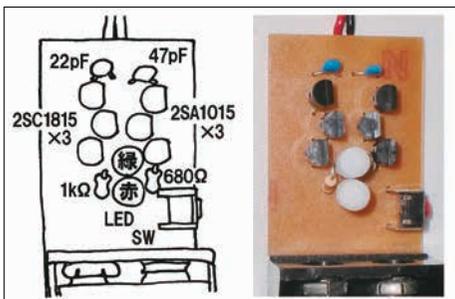


図3 部品配置図

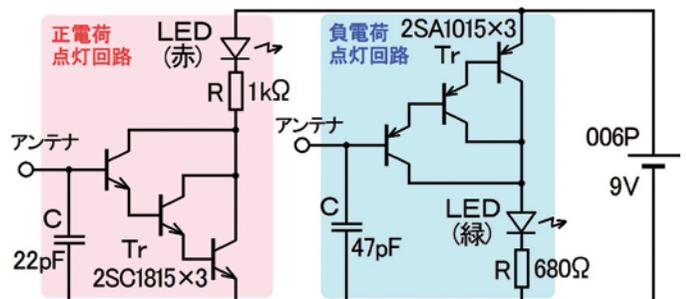


図4 回路図

- ・L型押ボタンスイッチ（SKHHLPA010）1個
  - ・ビニル平形コード5cm
  - ・感光基板、現像液、エッチング液、フラックス
- ※材料はすべて手に入りやすい部品である。  
 ※図2のプリントパターンを白紙にコピーし、感光基板を使って簡単に基板を製作することができる。部品配置は図3のとおりである。

## 2. 回路について

静電気を検出する回路は、トランジスタを3つ組み合わせさせたダーリントン接続を用いて、高い増幅率になっている。装置のアンテナから回路へ流入または回路からアンテナへ流出する微小な電流を増幅し、LEDを点灯できる電流まで高めている。帯電体が正の電荷でアンテナから回路へ電流が流入するとき、図4左側の回路のトランジスタがONになり、赤色のLEDが点灯する。逆に帯電体が負の電荷で回路からアンテナへ電流が流出するとき、右側の回路のトランジスタがONになる。

## 学習指導方法

### I. 生徒につけさせたい力と中心発問について

静電気チェッカーを用いた演示実験と発問を組み合わせることにより、生徒の思考を促すよう授業展開を工夫した。

#### 1. 関心・意欲・態度

静電気の現象は身近な存在であり、多くの生徒が経験している興味ある現象である。しかし、静電気が発生するしくみや物体の帯電のしくみについて考える機会は少ない。静電気に関する観察・実験を通して、帯電体どうしにはたらく引力や斥力に気づき、そのしくみについて身近な現象と関連づけながら考えさせる。

#### 2. 思考力・判断力・表現力

物質を構成している原子核と電子の存在を理解し、「静電気の発生」、「静電誘導」、「誘電分極」のしくみと違いを原子核の存在と電子の動きによって理解させる。目に見えない微視的な現象の理解を通して、科学的な思考力を高めることができる。また、静電気に関する観察・実験を行い、物質中での電子の動きを図で示しながら説明する過程を通して、判断力・科学的に表現する力を養うことができる。

#### 3. 学習指導案の中心発問

- (1) 導入：帯電していない物体にも静電気がはたらくのは、なぜだろう？（個人・ペアで思考）
- (2) 演示実験1：導体球A・Bは、どのように帯電していますか？（図5：個人・ペアで思考）
- (3) 演示実験2：はく検電器は、どのように帯電していますか？（グループで話し合い）

## II. 指導方法「2つの導体球の静電誘導」

<操作の手順>

図5のような道具を使い、a～cの操作を行う。

<問い>

cの状態のとき、導体球A、Bは、どのように帯電

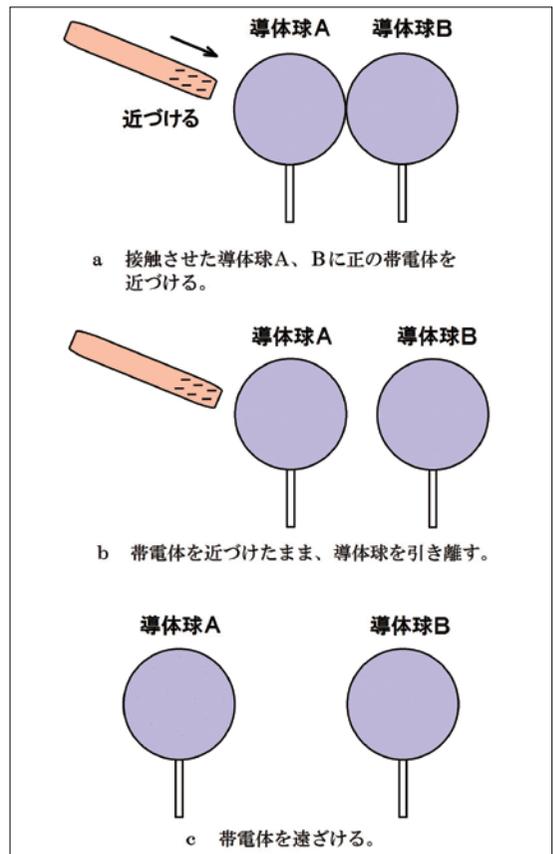


図5 演示実験の操作手順

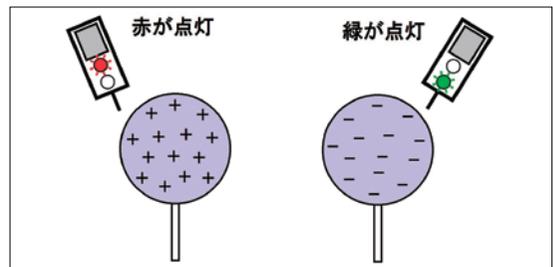


図6 導体球A、Bの帯電の状態（正解）

していますか？

<正解>

導体球Aは正に、導体球Bは負に帯電している。

<確認実験>

aの状態のとき、導体球Bの右側の帯電の様子を静電気チェッカーで確認する。緑色のLEDが点灯することから、負に帯電していることがわかる。

cの状態のとき、導体球A、Bの帯電の様子を静電気チェッカーで確認する。Aは赤色のLEDが点灯することから正に帯電しており、Bは緑色のLEDが点灯することから負に帯電していることがわかる（図6）。

<説明>

各状態の帯電の様子について、電子の動きをもとに全体で確認する。

### Ⅲ. その他の演示実験

#### 1. 静電気力による引力・斥力の実験

図7のように、発泡スチロールの上に置いた空き缶を正に帯電させて、帯電させた塩ビパイプ（負）を近づけると、引力がはたらき、空き缶は右に運動する。また、負に帯電させた空き缶に帯電させた塩ビパイプを近づけると、斥力がはたらき、空き缶は左に運動する。静電気力の斥力は身のまわりでは経験しないので、生徒は驚く。静電気チェッカーで極性を確認しながら実験を進める。

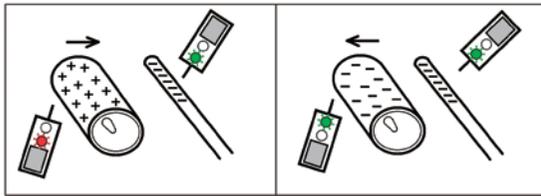


図7 静電気力による引力・斥力の実験

#### 2. コンデンサーの帯電の観察

コンデンサーの2枚の極板に直流電圧を加えると、片方の電極は負に帯電し、もう片方の電極は正に帯電する。アルミ板2枚の間に発泡スチロール板（厚さ15mm）をはさみ、平行板コンデンサーを作り、上のアルミ板に帯電体をこすりつけ、帯電させる（図8）。両極板の帯電の様子を静電気チェッカーで確認する（写真4）。

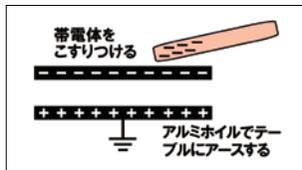


図8 コンデンサーの帯電

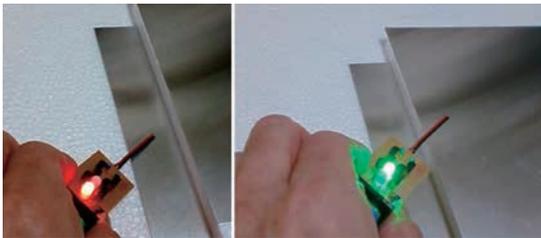


写真4 コンデンサーの帯電の様子

#### 3. ケルビン発電機

ケルビン発電機は、タンクから落ちる水滴が静電誘導によって帯電することを利用したものである。タンクから左右の空き缶に水滴を連続して落下させる。タンクから管を経て水は移動するが、管の先端の水には帯電した

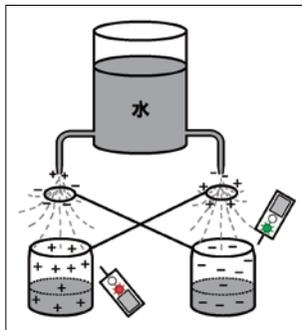


図9 ケルビン発電機

輪による静電誘導のために正または負の電荷が集まっているので、帯電した水滴が落下する。はじめ、空き缶はわずかに電荷の偏りがあり、水滴を繰り返し落下させ続けると、空き缶が互いに逆の極性に強く帯電するようになる。その結果、水滴が輪を通過するときに、輪から引力を受け、空き缶から斥力を受け、水滴が複雑に運動する様子を見ることが出来る。左右の空き缶の帯電の極性を静電気チェッカーで確認する（図9、写真5）。



写真5 ケルビン発電機の帯電の様子

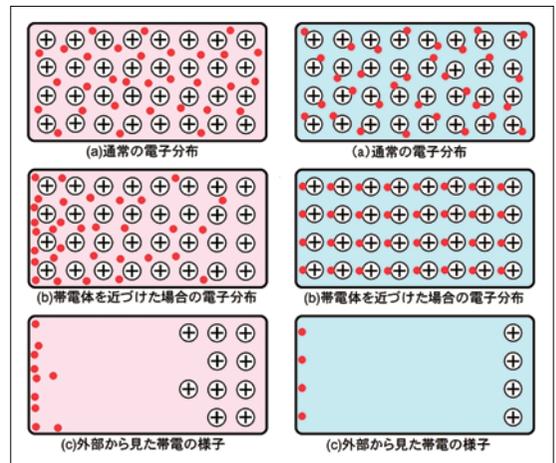
### 実践効果

#### Ⅰ. 生徒につけさせたい力について

この教材は、静電気発生のおもしろみや静電誘導、誘電分極の現象について、電荷の移動や偏りを考えることにより、微視的な見方や考え方を通して、科学的思考力を高めることに適している。発問を中心に授業を組み立て、観察・実験を行い、その結果から現象の起こるしくみを考察する過程を通して、科学的な思考を促すことができる。

#### Ⅱ. 帯電体を物体に近づけたときの帯電のしくみ

物体に帯電体を近づけたとき、物体中の電子が移動することにより、帯電した物体に近い側に、帯電した物体とは逆の極性の電荷が引き寄せられる。物体が導体か不導体（絶縁体）かによって、電子の移動の様子が異なる。



導体の静電誘導

絶縁体の誘電分極

図10 静電誘導（左）と誘電分極（右）の電荷の様子（左側から正の帯電体を近づけた場合）

が異なる。図 10 は、物体に左側から正の帯電体を近づけたときの様子である。それぞれの現象が起こるしくみについて、原子核と電子の動きを推測する活動を通して、科学的思考力を高めることができる。

## その他補遺事項

### I. 静電気の実験を行うコツについて

静電気の実験は、湿気、ホコリ、油分を嫌うので、なるべく湿度の低い日に行う方がよい。一番気をつけることは、湿度よりも、実験器具のホコリや油分を取ることである。私は、実験を行うたび



写真6 器具の洗浄

に、写真6のように器具を丸洗いしている。また、はく検電器のように洗うことのできない器具は、皿のまわりやガラス瓶をアルコールで清浄している。電気クラゲは、毎時間、新しく作ったものを用いている。

## II. 謝辞

本教材の開発にあたって、ヒントを与えていただいた沖縄県立豊見城高等学校の手登根真史先生と、多くの助言をくださった沖縄県高等学校物理教育研究会の会員の皆さんに、この場を借りて感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 前原俊信：Po-42 静電気符号判定器の開発（ポスター発表），日本理科教育学会全国大会発表論文集，第9号，444（2011）。
- 2) 三門正吾：静電気と電流を結ぶ教具の開発，平成11年度東レ理科教育賞受賞作品集（第31回），37（1999）。
- 3) 石田喜雄，長谷部亨：静電気の符号判別器の製作，福島大学教育実践研究紀要，第29号，97（1995）。