

静電気実験デモンストレーション用簡易起電器の試作

山形大学工学部 技術部

電子システム技術室 田村 恒一

1. まえがき

子どもたちの科学に対する興味を湧き起こさせる有効な手段の一つに、誰もが身近に実体験をもつ静電気に関する現象を視覚、感覚的に体験できるデモンストレーションが有効である。そのために、現在までに、ダイロッド発電機やケルビン水発電機などを試作し、研究室公開や学外への貸し出しなどでデモンストレーション用に活用してきた。



【写真1】 ダイロッド発電機

しかし、静電気現象の実験のために試作したダイロッド発電機は、原理が分かり易く、比較的高電圧を得やすいが実際に製作するためには、旋盤やフライス盤等の工作機械が必要になる。そのため、一般の人々が自分で製作することは難しいと思われる。

そこで、特別の工作機械や技術がなくても作れるような簡易起電器を幾つか試作し、簡単な静電気現象の観察に応用する。

2. 静電気測定器

各種の静電気実験のデータ収集に使用するために、市販の簡易静電気探知器の基本性能を検証する。この検知器は非接触型で、取扱説明書には、測定電圧が0～±19.9kV、測定

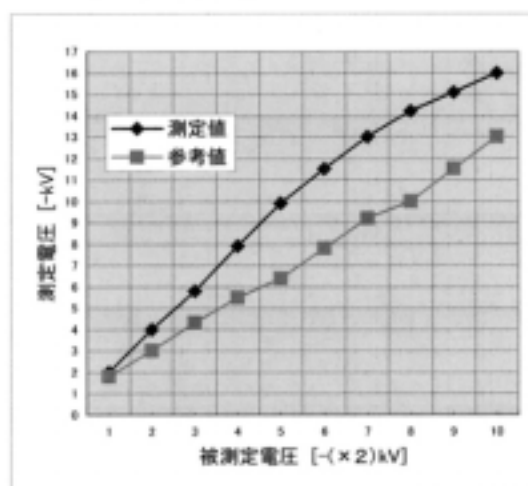
誤差±5%±100Vで、被測定物からの距離が5cmでの表示値が測定電圧を示すと記載されているのみである。そのため、より詳しい性能確認のための実験を行った。

特性測定では、直径80mmの円板電極に高圧電源を接続し、被測定円板電極の平面からの



【写真2】 静電気探知器

距離を5cm一定にして、高圧電源の電圧を0～20kVで変化させた。その測定結果のグラフを以下に示す。

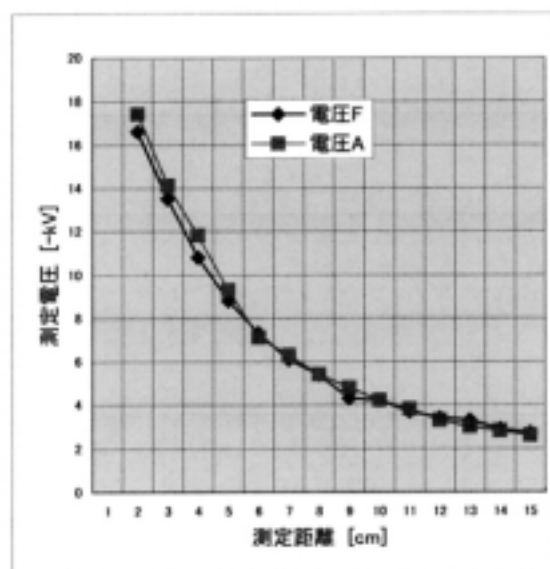


【図1】 被測定電圧と表示電圧（測定距離5cm）

図1の測定結果より、取扱説明書に記載されている通り手持ちで測定すると、-10kV付近までは静電気探知器の表示値は直線的に変

化し、被測定電極の電圧と一致している。しかし、それ以上の電圧になると、若干飽和する傾向が見られ、実際の電極電圧より値が小さく表示され補正が必要となる。参考値として示して特性は、検知器を手持ちではなく、アクリルの支持台に固定して測定を行った場合の表示値である。この結果では、取扱説明書の記載の表示値よりかなり下回った値を示しているが、 -20 kV 付近までリニアに変化をしているので、換算を行えば十分利用ができる特性と言える。一連の特性測定などに用いる時には、手持ちの場合より使い易いと思われる。

次に、この静電気探知器は最大測定電圧が、 $\pm 19.9\text{ kV}$ である。 $\pm 20\text{ kV}$ 以上の電圧を測定するには、被測定物と検知器の距離を離すことで可能になると想定できるが、そのために被測定物と検知器の間隔を変化させてデータ測定を行った。その測定結果をグラフに示す。



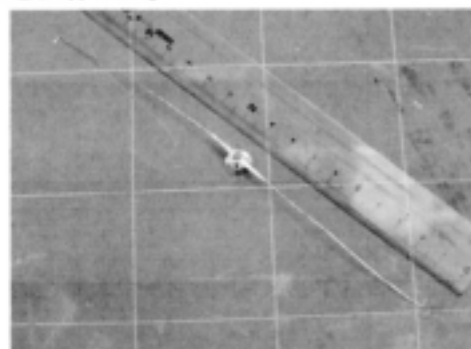
【図2】 測定距離と表示電圧（被測定電圧 10 kV ）

図2のグラフに示す測定結果をみると、被測定電極と検知器の間隔が大きくなると表示値は減少し、間隔が 9 cm で約半値になることが分かる。また、この検知器の表示値は、取扱説明書に示される 5 cm より短い 4.75 cm の場合がより正しい値を示していることも分か

る。表示値は、検知器の誤差の範囲にぎりぎりであるが、検知器のセンサー窓が、検知器筐体の厚み分内部に位置しており、この窓の位置から被測定物までの距離が 5 cm と考えると理解できる。

3. ハミルトンのはずみ車

起電器によって静電気が生じていることを視覚的に確かめるために、ハミルトンのはずみ車を試作した。



【写真3】 ハミルトンのはずみ車

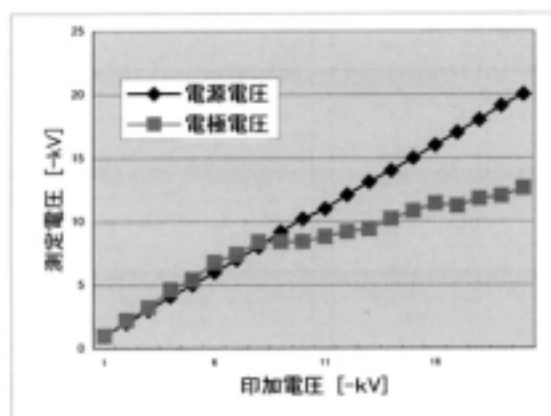
ハミルトンのはずみ車が回転する原理は、はずみ車が帯電して電圧が上がっていくと、やがてはずみ車の両端からコロナ放電を始める。放電によって気中に放出されたイオンとはずみ車の極性が同じであるため、お互いに反発し合い、はずみ車に回転する力が発生するという仕組みである。そのために、はずみ車の先端は直角に曲げてある。はずみ車の回転方向は、この針金の先端をどちらに曲げるかによって決定される。

はずみ車は、できるだけ軽くするために細い針金を探したが、撚り線の被覆を取り除いてほどこき、そのなかの2本だけを使いより合わせて作った。全体の長さは 18 cm にした。試作したハミルトンのはずみ車の写真のように針金の両先端は曲げてある。中心の軸受け部分は、適当なものを物色、自作も試みたがはずみ車の最も重要な部分であるので、古い方位磁石の針を使うことにした。

このハミルトンのはずみ車の基礎的特性を

知るために、印加する電圧を変化し回転の様子を観察した。はずみ車は、被測定用円筒電極の最上部に乗せて行った。

図3のグラフに示すように、はずみ車は、電圧が7～8 kV程度に達すると回転を始め、さらに電圧が上がるにしたがって、回転速度が速くなる。はずみ車を載せた電極の電圧と高压電源で印加している電圧を見ると、はずみ車が回転をしていない範囲では、電源の電圧と電極電圧が、ほぼ同じ値で変化している



【図3】 電源電圧と電極電圧

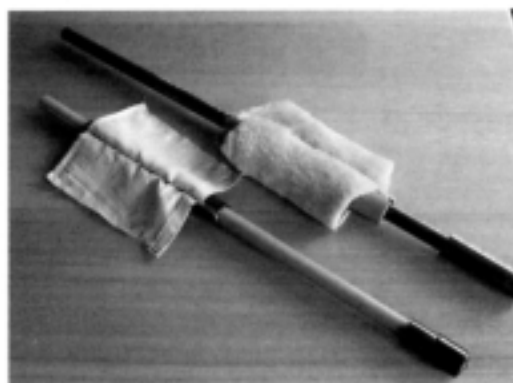
が、はずみ車が回転を始めると電極側の電圧の上昇傾斜が緩やかになり、電源の電圧との間に差が生じてくる。これは、はずみ車の先端からコロナ放電が起こり、電流が流れたためと考えられる。

4. 摩擦起電器

以下の写真のような3種の摩擦起電器を試作して、その発生電圧によってはずみ車の回転が起こるかどうかの観察を行った。擦り合わせる材質はいずれも塩ビパイプとナイロン、アクリルの布地を使用した。

まず、摩擦棒に使用の塩ビパイプVP13の外径は、約18mmのパイプを使用した。塩ビのパイプと布地を手で擦り合わせると手元に静電気が発生していることを感じるができる。この塩ビパイプの静電気をはずみ車を載せた測定電極に近づけ、摩擦を数回繰り返すと、

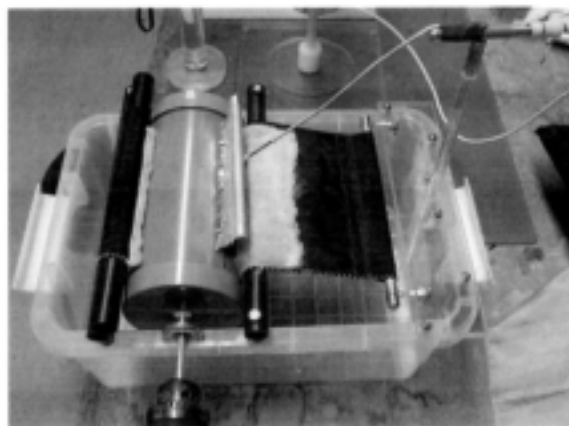
はずみ車が回転を始めることが確認できた。回転は比較的ゆっくりで、回転速度が上がること



【写真4】 塩ビパイプ擦り合せ型起電器

はないので、実際電極に発生している電圧は、8 kV前後であると推測できる。この起電器に若干の改良をして、摩擦棒のパイプより一回り径の大きい塩ビパイプに長さに沿ってスロットを切り、中に布地を挟み込み摩擦棒を差し込み、摩擦棒と布地を一体化した。

次に、子ども自身がハンドルを回して静電気を起こせるようにドラム型の起電器を試作し

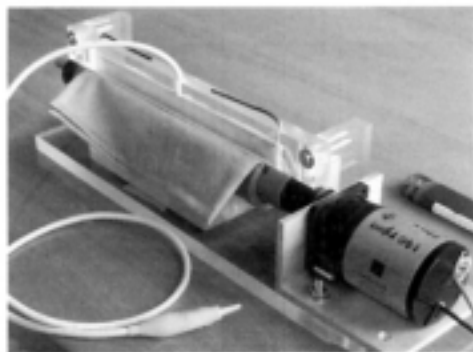


【写真5】 ドラム回転型起電器

た。回転ドラムには、外径89mmのVU75塩ビパイプを使用した。擦り合わせる布地との圧着を強くすると回転に相当の力が必要になり、100V用の電工ドリルで回転させても回転が停止してしまうことがある。この起電器で発生する電圧ではずみ車が回転するまでは至らなかった。静電気探知器による測定では、約6

k Vの電圧が出ていることが確認できたが、コロナ放電が起こり回転力を得るには僅かに足りないと思われる。子どもが自身で静電気を起こす体験には適当な構造なので、擦り合せの材質などを種類を変えて試行するなどの改善を施し、実用的な起電器に改良したい。

試作したドラム型は、回転させるために大きなトルクが必要であった。回転に必要なトルクの軽減と装置の小型化を図るために、回転部の塩ビパイプの外径を約18mmと約22mmに小さくした。その結果、塩ビパイプの回転は24VのDCモーターで十分駆動することができた。



【写真6】 塩ビパイプ回転型起電器

この起電器で発生する電圧は、はずみ車が回転始めたり止まったりを繰り返したため、8kV付近まで電圧が上がっていると推測できる。さらに工夫をすることによって、電圧の上昇と安定化を図ることが期待できる。

5. まとめ

手軽に作れる摩擦起電器を試作し、その起電電圧などの基礎的な実験を行った。その結果、いずれの起電器も -6 kV 以上の電圧を取り出すことができた。しかし、静電気発生を視覚的に観察するために試作したハミルトンのはずみ車の回転に必要な電圧には僅かに不足するものもあり、装置全体の電極やリード線などの突起部を極力無くし、リークの軽減や絶縁の改善を図り、とりあえずは、はずみ車が安定して回転を持続するために必要な電圧約 10 kV



【写真7】 起電特性測定の全体構成の例

以上を目指し、さらにその他の静電気実験に使用するために、さらに昇圧するための検討を進める。

謝 辞 日頃からご理解と有益なご助言をいただいている田村安孝教授ならびに柳田裕隆助手、また、特性測定に便宜を図っていただいた八塚京子助教授に感謝申し上げます。

起電器の試作において、須崎均技術専門職員を始めご協力いただいた方々にお礼申し上げます。

参考文献

新版 静電気ハンドブック 静電気学会編
静電気の基礎 増田閃一他 共著 浅倉書店