

既存の製品にはない機能を持つ実験装置の 開発を通じて物理教育の発展に貢献する



実施担当者 大谷中学校・高等学校
教諭 豊田 将章

1 はじめに

メーカーが販売している物理の実験装置の中には、コストの問題や需要が見込めないという理由で妥協を強いられている製品が多く、不便が生じる、あるいは期待した結果が得られない場合が少なくない。私たち大谷中学校・高等学校の科学部はこの1年間、公益財団法人中谷医工計測技術振興財団 科学教育振興助成の援助を得て、「画期的な装置を作って後輩たちの授業に活用してもらおう！」をスローガンにして、実用的で付加価値の高い実験装置作りに取り組み、いくつかの成果を挙げることができた。

2 装置作りの取り組みの内容

2-1 画期的に実用的なヴァン・デ・グラーフ型起電機の製作

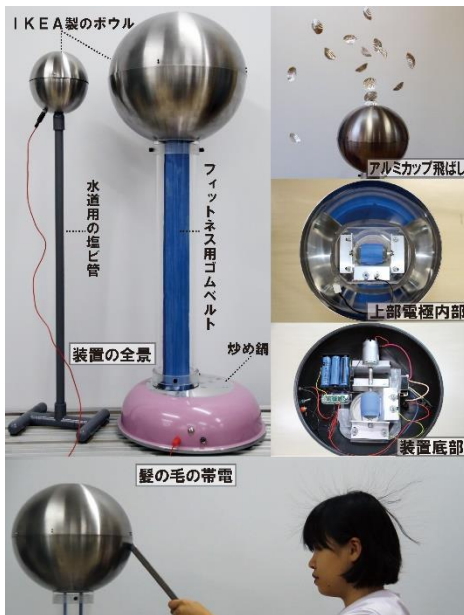


図1 装置の構造と実験写真

ボウルや炒め鍋、トレーニング用ゴムバンドなど、身の回りにある素材を使ってヴァン・デ・グラーフを製作し、青少年のための科学の祭典などの科学イベントで製作した装置を利用した実験を行ってきた。その際、度々問題となったのが、湿度が高い環境下での性能低下と、電源コードの取り回しに起因する利用場所の制約であった。ヴァン・デ・グラーフの製作に取り組み始めてから今に至るまでの6年間に、改良を重ねながら延べ10台の装置を製作してきた。

直近の1年間では、主として陽極側のローラーの素材選定と加工法の確立、電源の内臓化に対して取り組んだ。その結果、ローラーについては、水道管用の塩ビ製部品を、シリコンオリゴマーを主成分とする自動車のガラスコーティング剤で表面処理することにより、従来のガラス瓶を使ったローラー以上に静電気の発生特性に優れたものが完成し、湿度が高い条件下でもそれを気にすることなく実験ができるようになった。

また、電源の内臓化に関しては、PWM DCモータースピードコントローラーとリチウムイオン電池用充放

電保護回路（図2）の導入により、場所を選ばず、目的に応じた量の静電気を発生させることができるため、多くの種類の実験を行うことができるようになった。一見すると、消費電力が大きく思えるが、最大負荷で運転させているときでも3W程度なので、18650タイプのリチウムイオン電池を利用すれば、土台部分の炒め鍋の中に収めることができる3本の電池で、1日中動作させ続けることができる。

日本理化学協会主催の全国大会や、西宮こども科学教室、サイエンスキャッスル関西大会等において完成した装置を披露したところ、大変好評で複数の高等学校や他府県の理化教育研究会からの貸出依頼や製作方法についての問い合わせ多数寄せられた。そういった意味では、この装置の開発に関する研究は、多くの教育現場の活性化に大きく貢献した研究であると自負している。

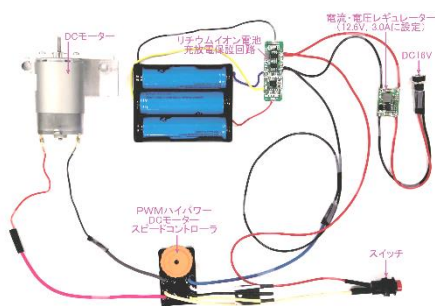


図2 制御回路の実態配線図

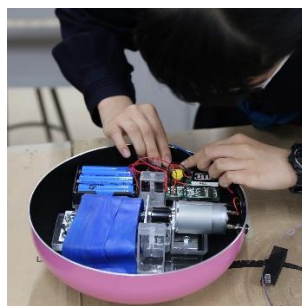


図3 制御回路の組み込み



図4 紙片で電場の様子を知る

この装置を使って、授業の補助教材として活用できる実験映像も多数記録することができた。生徒とともに撮影を行った実験映像には次のようなものがある。

- | | |
|-----------------------|--------------------|
| ① 静電誘導と誘電分極 | ② 電極間を往復する電気振り子 |
| ③ アルミカップを利用した同種の電気の反発 | ④ 静電気でアルミカップを飛ばす実験 |
| ⑤ 静電気で疑似的な気体分子運動のモデル | ⑥ ろうそくの炎で見る尖端放電 |
| ⑦ 髪の毛の反発 | ⑧ 冷陰極間を光らせる |
| ⑨ 平行板電極間の電場を見る | ⑩ フランクリンモーターを回す |
| ⑪ ティッシュの動きで電場の様子を知る | |

これらの映像に興味がある方は、下記のリンクで閲覧できるようにしているのでご覧いただきたい。

<https://drive.google.com/drive/folders/1vKPkAQ9eCScCF05dKZXD9J99Tc0Uz141?usp=sharing>

2-2 幼児でも発火に成功する圧縮発火器の製作

圧縮発火の実験は、ただ空気を圧縮するだけで脱脂綿を発火させることができるという素朴な驚きと興味を喚起する人気が高い実験である。「自分の手で発火させたい」という生徒は少なくないが、市販されている圧縮発火器は全長が200mm以上あり、机上で実験を行うには、伸びあがった体制でピストンを操作しなければならず、適正にピストンを押し下げることが難しい。それに加えて、市販装置のシリンダーの内径は9mm以上と大きいため、発火温度に達する前に力負けしてしまうという問題がある。そのため、成人男性であっても成功率は低い。

そこで、「誰でも確実に発火に成功する装置を実現させよう！」を合言葉に、部員たちと共に開発の取り組みを行った。解決策としては、シリンダー径を小さくすることが最も単純な方法であるが、そうすると強度が低下し、斜めにピストンを押し下げるとシリンダーが破損してしまう。素材と形状について多数のものを試した結果、図5のように、シリンダーには厚さ3mm、内径7mm、長さ130mmの亚克力パイプ、ピストンには直径6.8mm、長さ150mmの鉄棒を用い、これに直径6.8mm、長さ50mmの切削したPOM製の棒を柔軟性のある板ゴムに取り付けた土台という組み合わせの装置が完成した。ポイントは、シリンダーとピストンと



図5 完成した圧縮発火装置

の隙間をギリギリまで小さくして、斜めに押し込んでもシリンダーにピストンが無理なく入っていくようにした点と、燃焼室の容積を可能な限り小さくするところにある。ピストンのOリングから先の部分をギリギリまで削ることで、空気を閉じ込める部分の長さが 50mm 程度であっても、自然吸気型ディーゼルエンジン並みの圧縮率 20 以上を実現することができた。これらの工夫により、女子高生は言うに及ばず、5歳の女兒でも圧縮発火に成功することが確認できた。

助成金で卓上旋盤を購入することができたので、それまでのドリルと金のこを組み合わせで製作していた場合に比べて加工精度と生産性が大幅に向上し、比較的短期間で15セットを製作することができた(図6)。このうち10セットは、本校の物理の授業で活用し、残りの5セットは、近隣の学校に進呈して授業で使っていただいている。何れの教育現場でも好評で、評判が他校にも伝わり、多くの先生方から製作方法についての問い合わせがあった。

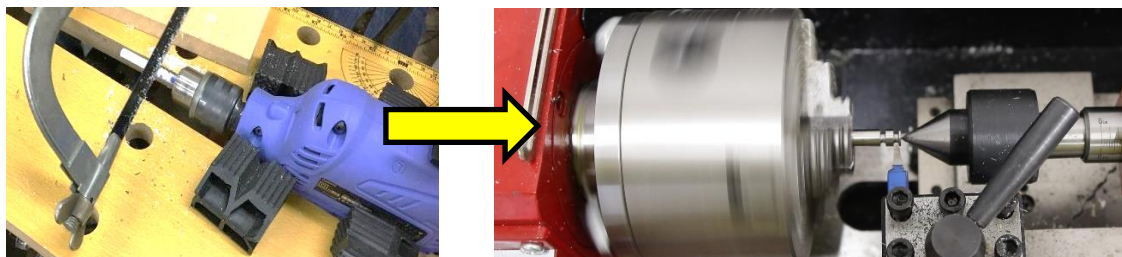


図6 助成金で購入した卓上旋盤が大活躍。加工精度と生産性が大幅に向上した。

2-3 平面滑走台の製作と装置を活用した映像教材の製作

「摩擦の影響を受けずに動く物体の運動の様子を観察したい」という素朴な願望が起点となり、理論と現象との整合性を確かめるべく装置の製作に取り組んだ。

製作した装置は、1辺900mm、厚さ10mmのポリアセタール製の板に直径1mmの穴を約4000個あけ、ブローで送り込んだ空気を小穴から吹き出させるという構造をしている。

手始めとして、滑走面上に、瓢箪のような形をしたアクリル板を置き、次の①～③について運動状態を撮影し、映像編集を行って、分かりやすい映像教材を製作した。

- ①作用線が重心を通る場合の並進運動、
- ②作用線が重心を通らない場合の並進と回転運動
- ③偶力を加えたときの回転運動

図8は、SONY製のDSC-RX10M3という型番のデジタルカメラを使い、フレームレートで120fpsのスローモーション撮影をしたときの撮影結果である。小穴から噴き出す空気の乱流によって、滑走体に若干の影響が及ぶことが予想されたが、一定の時間間隔で残像を残す映像処理を行った結果、概ね期待通りの良好な結果が得られたと考えている。

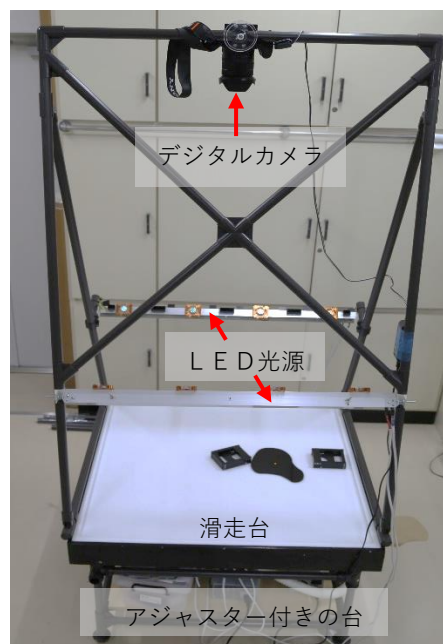


図7 装置の全景

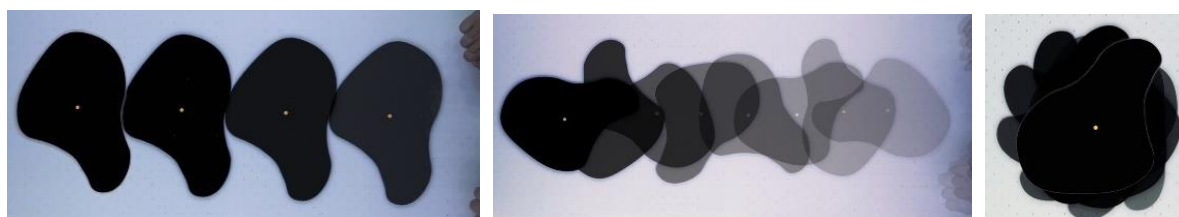


図8 剛体の運動の画像処理映像。並進のみ(左)、回転と並進(中央)、回転のみ(右)

このほかにも、質量が等しい2物体の衝突についても同様の方法で撮影を行い、こちらについても概ね良好な結果を得ることができた(図9)。装置の製作においても映像の撮影作業においても相当な今期と体力を要する作業であったが、出来上がった映像教材を見ると、その努力が報われたという感がある。(図8, 図9の映像についても、前出のリンク先に保存しているので、興味のある方はご覧いただきたい。)

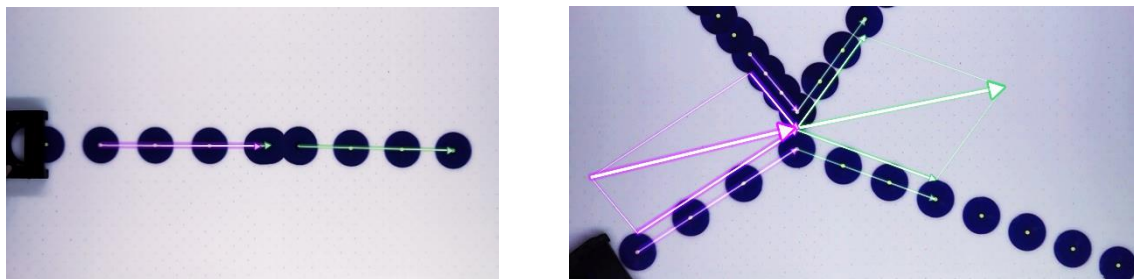


図9 質量が等しい2物体の衝突。静止物体との衝突(左), 両方が動いている場合の衝突(右)

3 まとめ

本研究は、高等学校の物理で学ぶ基礎的知識を習得するために役立つ実験装置や映像教材を製作することを目的とする活動であり、科学コンテストに応募して入賞を狙うような華はない。しかし、生徒にとっては、自身の手で作った装置を使って授業で触れる話題に即した現象を分析できるので、身の丈に合った考察を行えるという点で、これほど教育的な活動はないと自負している。

自分がかかわって出来上がった装置や映像教材が、後輩の学びの充実につながるとなれば、やる気の出し方にも自ずと違いが出てくるものである。「観客席で観戦するよりも、フィールドに出てプレイヤーとして活動する方が心地良い」と感じ、一からものづくりに取り組むようになることの意義は非常に大きい。

残念なことに、現時点では当初計画していた程には装置製作を進めることができていないが、上記の3つの装置以外にも、Bluetooth 接続で動作する気柱共鳴管(図10)や、ドライアイスなどの冷却材を必要としない霧箱(図11)など、間もなく実用レベルに仕上がる装置がいくつかあるので、これらについては引き続き科学部の生徒と共に完成を目指して努力を続けるつもりであるが、それと同時に、新たな装置作りや、既存の装置の改良に取り組み続けたい。

謝辞

今年度行った研究活動では、公益財団法人中谷医工計測技術振興財団の科学教育振興助成によって、例年になく思い切った取り組みを行うことができました。特に、旋盤をはじめとする加工機械の導入による部品の加工精度の向上と作業効率の改善は、活動時間が限られている条件下にある我々にとって非常に多大な恩恵でした。ご厚意に心から感謝申し上げます。今後は、今回の活動の成果を、できるだけ多くの学校現場と共有できるよう努めて参りたいと思っております。

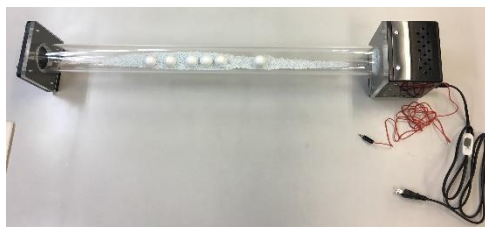


図10 Bluetooth 接続で動作する気柱共鳴管



図11 冷却材を必要としない霧箱

以上