実験装置の開発を通してもの作りと自然科学の魅力に触れる

実施担当者
学 校 法 人 大 谷 学 園
大谷中学校・高等学校
教諭　豊田　將章

１　はじめに

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，装置開発を行い開発した装置を用いて実験計測をする取り組みを行いました。本校は女子校ですが，理科やものづくりに興味を持つ生徒が多く，活動の意欲が旺盛な生徒の多くが科学部に所属し，幾つかの研究班を組織して幅広い分野の科学研究を行っています。

装置づくりを行う研究班の生徒は「画期的な実験装置を開発し，後輩のために授業で活用してもらおう！」を合言葉に，既存の概念にとらわれることなく利便性と動作精度に優れた装置の完成を目指して研究に取り組み，これまで数多くの装置を生み出してきました。

例年は製作した装置を，理科の授業で活用するだけでなく，科学イベントの場に持ち込んで一般来場者や同年代の学生，学校教員等の評価や，自らの使用感をもとに改良を重ねて性能と利便性の向上を図ってきましたが，残念ながら今年度は，コロナ禍の影響で活動期間や成果を披露する機会は，８月の「よみうりサマースクール」，１０月の文化祭，１２月の成果報告会のみに制限され，当初の計画通りには活動ができませんでした。

しかし，装置の設計段階ではメンテナンス性や利便性への配慮の大切さを学び，製作段階では旋盤やフライス盤などの工具を喜々として使いこなすなど，生徒たちはものづくりの魅力に触れてくれたのではないかと感じています。以下では今年度に取り組んだ内容の幾つかを紹介します。

２　実験装置の製作

２－１　バンデグラフ起電機の製作 [1)]

9 年前に 1 号機を製作して以来，部員と共に改良を重ね, 今日までに延べ 15 台の装置を製作してきました。

「可能な限り身近で入手できるものを使用して製作する」という基本ルールの下, 球体電極に IKEA のボウル，土台部分にガス火専用炒め鍋，ローラーにアクリル樹脂やフッ素樹のコーティングを施した水道管用の TS キャップ，ベルトにエクササイズベルトを素材として選定して製作しました。

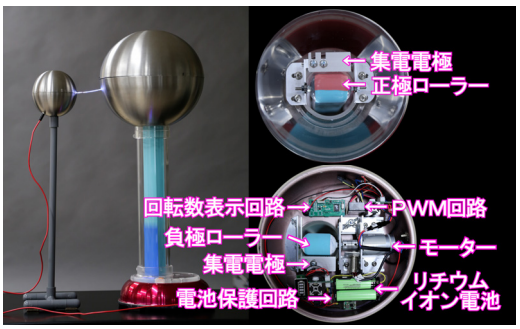

図１　バンデグラフ起電機の内部構造

科学イベントがある機会毎に改良を重ねた結果，今日では，多湿の環境下でも安定して静電気を発生するだけでなく，実験目的に合わせて最適な静電気を発生み出せるよう，出力の可変化や，場所を選ばずに実験ができるよう電源の内蔵化を実現しました。

今年度の当初の目標は，中谷医工計測技術財団から提供していただいた助成金で静電電位測定器を購入し，放電ギャップと発生電圧の相関を明らかにすることでしたが，実際に測定器を利用して発生電圧の計測を行いましたが，電位を測定しようとして測定器のセンサーを電極に近づけると，センサーを近づけていないときに比べて，放電ギャップがかなり小さくなってしまうという事実に直面しました。これは，発生した静電気がセンサーやセンサーを支持する測定者の手に奪われてしまっていることが原因であると推測しています。このことについては，センサーを支持する方法を様々に工夫して測定を試みている最中にセンサーが故障してしまったため，残念ながら明確な結論が出ないままとなってしまいましたので，継続課題にしたいと考えています。

	回転数 (rpm)	温度 (℃)	湿度 (%)	電圧 (万V)	放電Gap (cm)
1	900	19.4	34	5.10	5.50
2	900	19.5	33	4.57	5.50
3	900	19.5	34	4.78	5.50
4	900	19.5	34	4.87	6.50
5	900	19.6	34	4.33	5.00
6	900	18.4	42	4.37	5.00
7	870	18.1	42	4.17	5.50
8	840	19	38	4.60	4.50
9	850	19.4	37	4.50	5.00
10	890	19.5	37	4.70	4.00
11	870	19.3	37	4.45	4.50
12	840	19.4	37	4.60	4.70
13	840	19.4	37	4.40	4.80
14	850	19.3	36	4.50	6.30
15	845	19.2	36	4.47	5.50
16	850	19.2	36	4.50	6.00
17	820	19.2	36	4.40	6.00
18	800	19.2	36	4.43	5.50
19	790	19.2	35	4.60	6.50
20	750	19.1	36	4.40	6.00
21	780	18.9	37	4.50	6.00
22	810	18.9	36	4.40	5.50
23	770	18.8	37	4.40	5.80
24	770	18.8	37	4.40	5.50
25	990	12.2	41	4.65	6.20
26	980	12.2	41	4.70	6.00
27	1005	12.2	41	4.65	5.20
28	945	12.3	41	4.75	6.00
29	1010	12.3	41	4.55	6.00
30	980	12.2	41	4.75	7.30

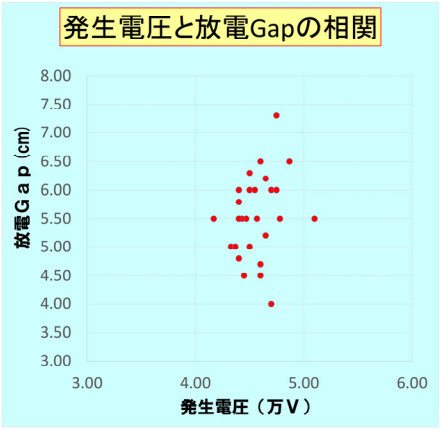

表１　発生電圧と放電ギャップの相関

一方，計測を試みることを通じて，次のような事実が明らかになりました。

・モーターに掛かる電圧を一定にした場合，電気量が増すに連れてローラーの回転数が低下する。
・球体電極の直径が大きい程，発生電圧が大きい。
・モーターの回転数によって放電が起きる周期が変わるが，発生電圧に大きな違いはない。
・上下のローラー間の距離と発生電圧に明確な相関はない。
・ゴムベルトの張力が大きい程，ローラーとの密着度が高く，発生電気量が多くなる。

振り返ってみると，上記の内容は何れも特別なものではありませんが，取り組みを通してこれらの事実を確認できたことは無意味ではないと考えています。

バンデグラフの製作・実験班の当初の目標は，「発生電圧と放電ギャップの相関を明らかにすること」と「小型でありながらより発生電圧が大きい装置の開発」でした。（もちろん，今後もこれらについての取り組みは続けていきます。）しかし，取り組みを続けていく中で気づいたことは，実際の学校現場で必要とされているのは，恐怖を感じる程の高電圧を生み出すことではなく，次のような条件を満たす装置ではないかということでした。

・悪条件下でも確実に静電気を生み出せること
・目的に合わせて適切な量の静電気を発生させられること
・AC 電源からの取り回しを気にせず利用できること

加えて，目に見えない静電気を肌身で感じることができる実験や強く印象に残る実験の種類を増やしていくことも，装置開発にも増して必要なことではないかと考えています。電気振り子やフランクリンモーターのような古くから知られている実験の他に，右の写真にあるように「細く切ったティッシュペーパーで帯電している物体のまわりの電場を感じる実験」などは，既に知られているかも知れませんが，私たちは取り組みの中で偶然に発見したことがきっかけで始めた実験です。所見の人には大変インパクトの強い大変好評の実験です。今後も装置開発と並行して，静電気の特性を理解することに役立つ新たな実験手法を模索したいと考えています。

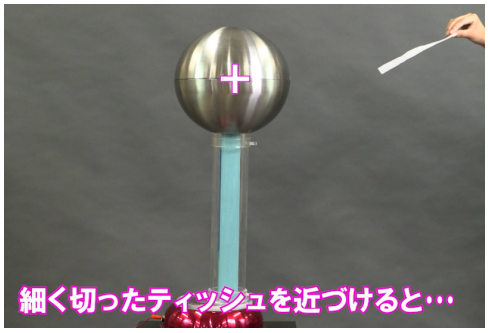

図２　電場の様子を確かめる実験

２－２　密度変化を同時に観察できる気柱共鳴装置の製作

右の写真は，両端が閉端になっている２種類の気柱共鳴管を上下に配置した装置で，ちょうど基本振動の定常波が発生しているときのものです。

下段の気柱共鳴管は，直径が 2mm と 30mm のポリスチレン球を入れて振幅の大小を可視化し，上段の気柱共鳴管は，密度変化の大小を可視化させるために，管内に 46 個のマイクユニットを配置し，それぞれの信号の大小をレベルメーターで表示するようにしたものです。何れの装置も，左端には独自の方法で音の出口を加工した TOA 製 TU-750 を音源として取り付け，音源側が終始固定端として振舞うという良好な過渡特性を実現しています。

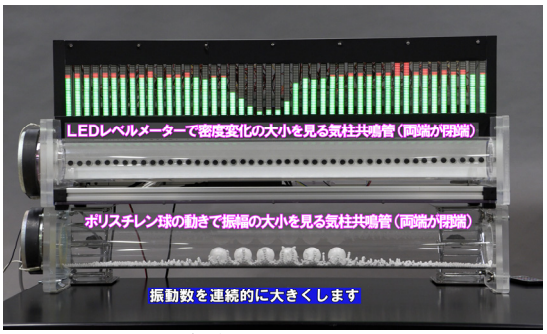

図３　振幅と密度変化を同時に確かめる装置

この２つ気柱共鳴管を組み合わせることで「密度変化が最大の位置では振幅が最小である」ということが容易に確認できるようになりました。また，下段の気柱共鳴管だけでは，固有振動数の近傍以外では目視でわかるような変化が観察できませんでしたが，上段の気柱共鳴管と組み合わせることによって，過渡的な状態における微弱な密度変化の大小の様子を管内全体にわたって観察できるようになり，振動数を次第に大きくしていくと，疑似的な節の位置（振幅が小さい位置）が音源から遠ざかる向きに移動する様子を観察することができます。この装置は，スマホまたはタブレット端末の発振器アプリで信号を発生させ，Bluetooth 内臓アンプを介して動作をさせているので，利用する際に発振器やアンプを接続する手間を省くことができる上，誰でも人差し指 1 本で直感的に操作できるという利点があります。この装置を使った実験は，ビジュアル的に楽しめるということもあって，実験を体験した生徒達からはバンデグラフに次ぐ人気を得ています。

現時点で明らかになっている問題点は，下側の気柱共鳴管にポリスチレン球を入れていることが原因で，理論値との間に 2%程度の誤差があり，上の気柱共鳴管（理論値との間の誤差１%未満）との間に約 1%のずれが生じていることです。1%のずれは振動数に換算すると数 Hz のずれに相当しますので，観察する側にとっては違和感が残ります。今後，ポリスチレン球の代わりに振幅の大小を効果的に視覚化できる方法を見つけ出したいと考えています。上の気柱共鳴管についても，動作の安定性とキャリブレーションの問題が残っています。結線のわずかな違いが動作に影響するため，46 個のマイクユニットの動作特性を同一にできていないので，今後使う部品や結線方法を検討し直し，確実な動作が得られるよう取り組みたいと考えています。

２－３　弦の振動実験装置の製作

科学イベントや授業で弦の振動の実験を行うと，目の残像効果によって，1 本ではなく複数の弦が振動していると勘違いする人が少なくありません。また，弦が正弦曲線を形作っていることを何とかして伝えたいをいう思いがあり，これらを解決する方法として，弦の振動装置にストロボ光源を合体させ，Bluetooth 内臓ステレオアンプを介してスマホやタブレットで操作できる装置の製作に取り組みました。

ストロボ光源には，MOS-FET を用いたスイッチング回路と陳列棚の照明に使うテープ LED とを組み合わせたものを使用しています。テープ LED を利用することは，弦に均一に光

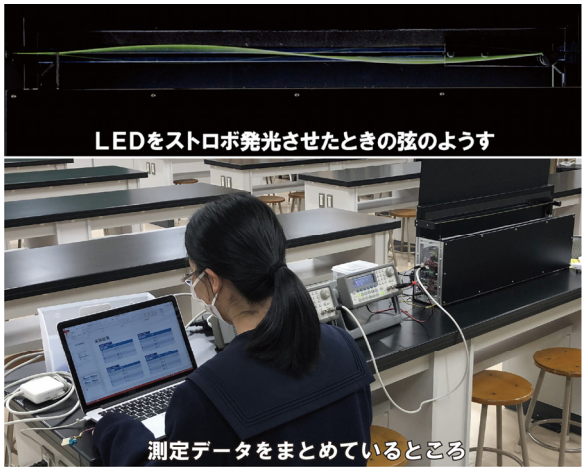

図４　弦の振動のストロボ写真(上)と
実験計測をしている様子(下)

をあてる上で大変効果的でした。また，２台の低周波発振器とアンプの組み合わせに代えて「f Generator PRO」というアプリで Bluetooth 内臓ステレオアンプに信号を送るようにすると，手軽に弦とストロボを独立して或いは連動して動作させることができるようになりました。また，スイッチング回路に入力しる信号の電圧を調整することで，デューティー比を変更すると，個々の瞬間の波形を見るだけでなく，定常波の概形と弦の動きの相関を確認することができるので，大変便利でした。Bluetooth 内臓アンプやリチウムイオン電池を積極的に活用すると，リモート操作や装置のコードレス化を容易に実現できることがわかりましたので，水面波実験装置などの波動分野の実験装置に実装して，利便性を大きく向上させたいと考えています。

弦の長さ〔cm〕	70			
おもりの質量〔g〕	80.0	40.0	20.0	10.0
基本振動	24.2	19.1	13.1	9.3
２倍振動	48.5	38.0	26.4	18.6
３倍振動	72.7	57.3	39.7	28.1
４倍振動	95.5	76.3	53.8	37.5

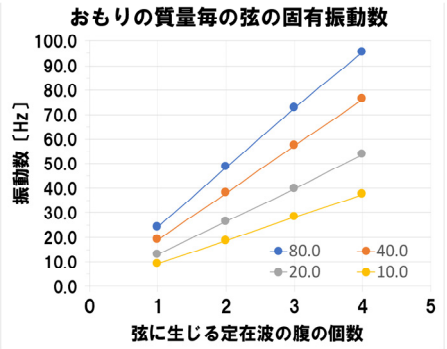

表２　弦の振動の計測結果

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，学校現場に再びものづくりを通じた教育を呼び戻せることを狙った活動です。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に当事者目線で触れるので，大変教育的な活動であると自負しています。

受動的に授業に参加するのとは異なり，自分がかかわってでき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大きな違いがあります。「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ので，今後も地道にベーシックな取り組みを続けたいと考えています。

本研究で残すことができた成果を本校の生徒だけでなく，広く活用していただけるようになればと思っていますので，科学イベントや他校との交流を通じて広く発信していく努力も継続的に行っていきたいと考えていますので，関心を寄せていただく方は是非お声をかけていただきたいと思います。（mail：toyoda@osk-ohtani.ed.jp）

謝　辞

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，多くの生徒に装置作りと行うことができました。特に，フライス盤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おおきな恩恵でした。ご厚意に心から感謝申し上げます。

参考文献

1）元年度東レ理科教育賞第 51 回受賞作品集 P.1~5

以上