

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 将章

1 はじめに

大谷中学校・高等学校の科学部は、昨年度に引き続いて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科学に対する興味関心を多くの方に持っていただけるよう取り組みを行いました。本校は女子校ではありますが、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。

昨年度に引き続いて今年度もコロナ禍の影響によって活動期間が大きく制限されたため、装置製作はバンデグラフ起電機の利便性向上と、粉塵爆発実験装置の開発の2つに絞り、活動自粛期間中は、実験動画の製作スキルを磨くことに取り組みました。科学イベントに参加する機会の多くはコロナ禍によって失われましたが、近隣の高校や大学と連携しながら、小学生を対象にした実験体験イベントに積極的に参加しました。中でも Web 開催となった「青少年のための科学の祭典大阪大会」では、音波に関する実験動画が、優れた出展者に贈られる「関西サイエンス・フォーラム理科奨励賞」を受賞することができました。また、科学コンテストにもチャレンジし、サイエンスキャスト関西大会では、粉塵爆発実験装置の製作班が口頭発表部門のファイナリストに選ばれ、優秀賞を受賞しました。

2 実験装置の製作

2-1 バンデグラフ起電機の製作

10年前に1号機を製作して以来、部員と共に改良を重ね、今年度は16号機と17号機の製作を行いました。既に、15号機まででコードレス化と出力の可変化を実現し、高価な市販品を上回る性能を発揮していましたが、更なる利便性向上のため、以下のような改良を行いました。

- ① 以前の装置では100%の出力で動作させると、ゴムベルトが暴れてローラーとの密着度が低下するため、70%の出力で動作させたときよりも静電気発生量が低下するという現象が起きていました。



図1 バンデグラフ起電機の内部構造
(電池の裏にPWM制御器と回転計を設置)

これに対しては、モーターとローラーを直結するのを止め、径が異なるプーリーと歯付きベルトを組み合わせ、ローラーの回転数をモーターの半分にする事で対応しました。この改良による二次的な効果として、微速運転をさせることが可能になるだけでなく、等速ジョイント部で発生していた振動がなくなり、動きが滑らかで動作音が静かになりました。(図1)

② 新しいPWM制御回路の導入により、起動・停止と出力調整をリモコンによるワイヤレスで操作できるようになりました。これによって、本体から離れたところからでも操作ができるようになり、静電気を苦手としている人でも電気ショックを受けることなく操作ができるので、心理的な負担が軽減されて、操作に集中できるようになりました。

③ ローラーの回転数をモーターの半分に抑える改良をしたことによる静電気発生量の低下を避けるため、外径40mmのローラーに内径40mm、厚さ2.0mmのPTFE(フッ素樹脂)製のパイプを外挿しました。(図3左側)

この工夫によって、従来のフッ素樹脂製水道補修用シールテープを巻き付けたローラー(図3右側)に比べて、静電気の発生効率が向上し以前と同等レベルを維持することができるようになりました。

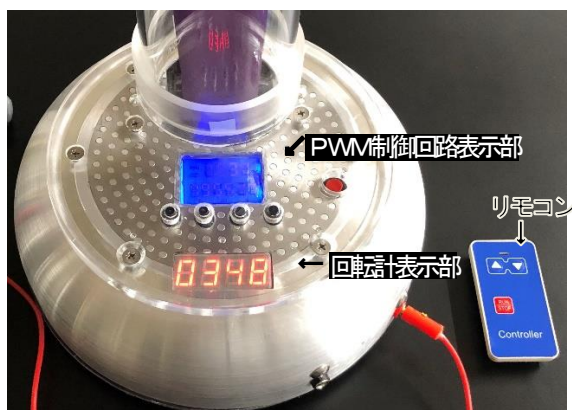


図2 バンデグラフの本体基部とリモコン

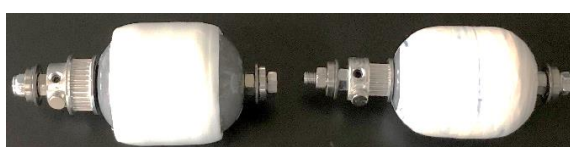


図3 PTFEの筒を外挿したローラー(左)と従来のローラー(右)

2-2 室内で安全に演示できる粉塵爆発実験装置の製作

炭鉱の坑道内で起こる爆発事故の多くは、粉塵爆発であると言われています。採掘・運搬の際に舞い上がった石炭の粉は大変燃えやすく、わずかな火種に触れただけで一気に燃え上がってしまいます。一般家庭のキッチンでも、小麦粉などの微粉末が粉塵爆発を起こす可能性は十分にあり得ます。その危険性を多くの人に体験してもらうために、5年ほど前から粉塵爆発を再現する装置の開発を行ってきました。

開発初期の装置は、漏斗にホースをつないだだけの単純な構造で、ホースから勢よく空気を送り込み、漏斗に注ぎ入れた粉糖やマグネシウム粉を舞い上がらせてろうそくの炎で着火させていました(図4の第1世代)。しかし、空気との攪拌不足とろうそくの失火が原因で、実験の成功率は低調でした。その上、失敗した場合は大量の粉が周囲に散乱し、後始末が大変でした。一方、大量の粉末試料を使わないと着火ができないため、成功した

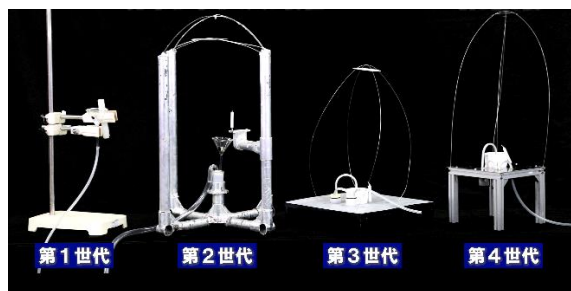


図4 過去5年間に開発した歴代の装置

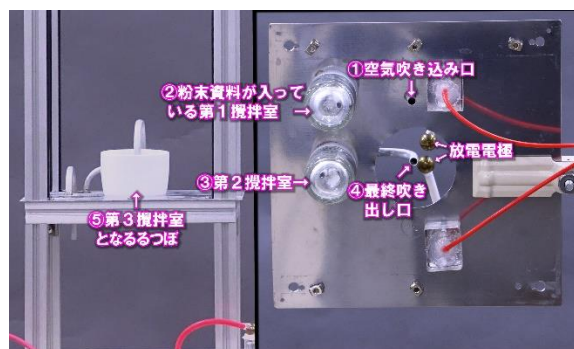


図5 3回こわって試料と空気を攪拌する

場合は成功した場合で、被せているビニール袋が燃えながら吹き飛ぶので、見る人に与えるインパクトは絶大ですが、一つ間違えると事故につながりかけない大変危険な状態になるという問題がありました。

第2世代以降では、使用する粉末試料を極力少量に抑えると同時に、着火の成功率を高めるため、粉末試料と空気の混合促進と、確実に着火するための改良を意識して改良に取り組みました。

今年度前半に完成させた第4世代の装置では、攪拌の機会を3回設けることにして、攪拌室となる容器やノズルの形状を様々に試した結果、図6のような構造に落ち着き、この改良によって、試料の粉末がかたまりになったまま飛び出すということが無くなりました。ただし、この段階での成功率は、マグネシウム粉末の場合で70%、粉糖の場合で20%、小麦粉の場合で0%と、満足できるレベルには到達することができませんでした。

ろうそくの炎による点火方式では、失火することが成功率が向上しない根本原因であることは明らかだったので、最新の第5世代の装置(図6)では、放電による着火方式に焦点を絞って改良に取り組むことにしました。生徒と共に放電について調べたところ、放電には火花放電、コロナ放電、グロー放電、アーク放電の4種類があり、そのうち粉塵の着火には発熱を伴うアーク放電が有効だとわかりました。そこで、多種多様な電源を購入して試したところ、20kVのものであれば多種多様な電源が販売されているので、そのうちの幾つかを購入して次々試したところ、最後に試した“テスラコイル用”として販売されている高圧電源で良い感触が得られました。電極位置や電極の形状、電極の焼き付き対策など、様々な問題を克服する必要がありましたが満足できる結果を得ることができました。

燃焼に必要な最小の粉末の量は、Mgの場合0.1g、小麦粉や粉糖の場合は0.07gで、着火成功率はどの試料を使っても95%以上と、十分に満足できるレベルを達成できました。

また、粉末の量が少量で済むようになったことに伴って発熱量が減り、室内で安全に実験を実施することが可能になりました。

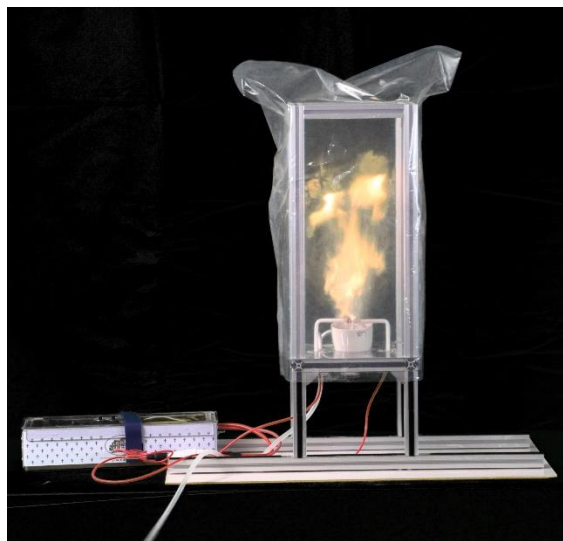


図6 第5世代の装置を使って起こした粉塵爆発の様子



図7 放電着火用電源ユニット



図8 Mg粉末ではわずか0.1gの試料で着火に成功

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現象を経験するので、通常授業以上に当事者意識を強く持って学びを行うことができたと考えています。

本研究に参加した生徒の「装置を手作りする取り組みを通して、努力が結果になって返ってくることを知った。この経験は、私達の科学に対する関心をより盛り立てた」、「私たちは、装置作りや実験を通じて少しでも多くの人に科学研究の楽しさを知ってもらいたい」、「今後は、より専門的な知識を身に着けて、多くの教育現場で使ってもらえるような実用的な装置に仕上げたい」という言葉が、当事者性を持った学びを行い、引き続き向上心を持って研究に意欲を燃やしている証であると思います。

リモートで近隣の大学や高等学校と交流する機会を多く持てるようになったことは、コロナ禍による唯一の恩恵だと思いますが、今年度は、研究活動を通じて実にたくさんの学校と交流を深めることができただけでなく、生徒たちが製作した装置が他校の授業で活躍するという出来事がありました。貸し出した先の生徒たちは、自分たちと同じ高校生が作った装置だと知らされて大いに刺激を受けたと聞いております。これを機に、装置作りを研究目的とするネットワークが芽生え、交流を通じて刺激を受け、互いの研究が益々盛んになっていくことを願っています。また、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、通常では試すことができないような試行錯誤を存分に行うことができました。貴財団のご厚意には心から感謝申し上げます。

助成の恩恵によって装置を製作するための多くの素材を購入することができましたが、活動自粛期間が長く、当初計画していた研究テーマの一部しか消化できていませんので、次年度は、今年度に引き続いて当初の目標を達成すべく、研究活動を続けたいと考えております。多くの生徒に、研究の醍醐味を味わう機会をくださいましたことを、重ねて御礼申し上げます。