

トチノミを利用した低熱源発電装置の開発と評価

～SDGs と STEAM 教育の観点から～



実施担当者 白鷗大学足利中学校
教諭 宮田 英史

1 はじめに

近年、AI 技術の急速な普及に伴い、その基盤となるデータセンターの地方分散化が進むことが見込まれている。データセンターは膨大な電力を必要とするため、地域におけるグリーンエネルギーの安定的な供給体制の整備が、今後いっそう重要になると考えられる。¹⁾電力需要の増加に比例して電力価格の上昇も懸念されるなか、再生可能エネルギー、とりわけバイオマスの有効活用は地域社会に新たな可能性をもたらすテーマである。

本校が所在する栃木県足利市は、渡良瀬川流域の豊かな自然環境に囲まれ、古くから農林資源に恵まれた地域である。また、足利学校に代表される学問文化の伝統を受け継ぎ、地域とともに学びを育む教育活動が盛んに行われてきた。本校でも、地域資源を活用した理科教育や探究学習に力を入れており、自然環境と産業を結びつけた学びは、持続可能な社会の実現を考える上で大きな意義をもつ。

このような地域的背景のもと、本研究では、食料との競合が課題とされる従来のバイオエタノール²⁾に代わるバイオマス資源に着目した。我々の予備的な検討では、食用の種子は一般に高いエネルギー密度を有することが明らかとなった。³⁾そこで、食料として現在は利用されていない地域資源を探索した結果、栃木県の県木であるトチノキに着目した。図1はトチノキの実であるトチノミ（栃の実）である。トチノミはかつて救荒食として利用されていたが、20世紀初頭を境に県内での食用利用はほとんど見られなくなっている。⁴⁾こうした歴史的経緯と未利用資源としての特性から、トチノミは新たなバイオマス資源としての可能性を秘めていると考えられる。



図1 トチノミの果皮（上）、トチノミの種子（下）

本研究では、トチノミのエネルギー密度の測定を行うとともに、低熱源でも発電可能な装置の開発を試みた。

2 科学部の活動を通じた SDGs と STEAM 教育の実践

2-1 SDGs を調べ、環境問題と解決方法についてディスカッション

エネルギー問題や地域資源の活用をテーマとした探究学習の一環として、まず生徒たちが SDGs (持続可能な開発目標) について理解を深める活動から取り組んだ。生徒たちは、教室に設置された掲示資料やタブレット端末を用い、気候変動、資源枯渇、再生可能エネルギー、森林保全など、SDGs に関連する幅広いテーマを自分たちで調べた。特に「目標 7: エネルギーをみんなに、そしてクリーンに」や「目標 13: 気候変動に具体的な対策を」に関心を示す生徒が多く、日常生活と地球規模の課題が結びついていることを実感していた。



図2 SDGs についてのディスカッションの様子

調べ学習の後、生徒たちは少人数のグループに分かれ、調べた内容をもとに環境問題の原因とその解決方法についてディスカッションを行った(図2)。ディスカッションでは、「AIの普及で電力需要が増えるなら、どんな再生可能エネルギーが役に立つのか」、「地域の森林資源を活かせば CO₂ 排出を減らせるのでは」、「自分たちができる取り組みは何だろう」、など、生活の中で実感している問題と世界規模の課題を関連づけた意見が積極的に交わされた。

さらに、生徒たちは議論の中から「環境負荷が少なく、食料と競合しないエネルギー資源が必要である」という視点を見だし、後のトチノミを活用した研究と結びつけていった。SDGs の学びを単なる知識習得にとどめるのではなく、自分たちの研究テーマに応用し、課題解決の視点を自ら創り出すことができた点が、この活動の大きな成果である。

2-2 CO₂ 測定装置制作と装置設計

Arduino Nano を用いた CO₂測定装置(図3)の自作に取り組んだ。装置は、バイオマス燃料を燃焼させた際に発生する二酸化炭素量を簡易的に測定することを目的として設計されたもので、1・2年生13名全員がそれぞれ1台ずつ組み立てを行った。

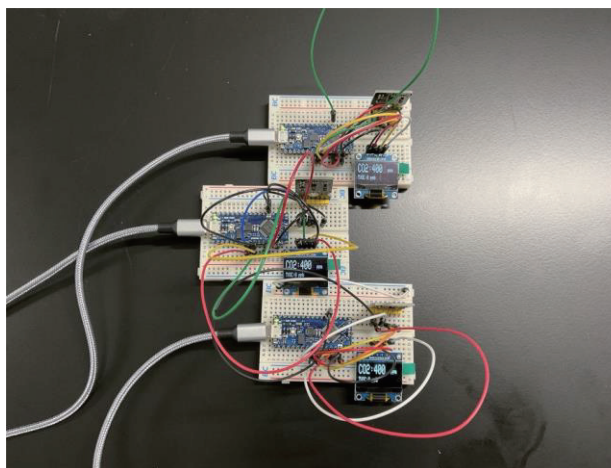


図3 Arduino Nano を用いた CO₂測定装置

制作活動では、センサーや配線の接続、プログラムの書き込みなど、普段の授業では扱う機会が少ない工程に挑戦した。完成した装置を動作させる段階では、「ディスプレイに表示されないのは電源の問題ではないか」、「表示が乱れているのはセンサーの信号が届いていないためだと思う」、といった声が生徒たちから自然に生まれ、原因を推測しながら改善を重ねる姿が多く見られた。こうした試行錯誤を通して、生徒たちは電子回路の仕組みやセンサーの特性について理解を深めていった。

さらに、CO₂は空気より重いという性質を踏まえ、測定容器の下側にセンサーを設置するという工夫も生徒主体で導入された。完成した測定装置は、後のバイオマス燃料の燃焼実験において重要な役割を果たし、燃焼による CO₂ 発生量の比較や燃料特性の検証に活用された。

これらの活動を通じて、生徒たちは単に装置を「作る」だけでなく、目的に合わせて装置を設計する思考力や、問題に直面したときに自ら仮説を立てて解決する探究的態度を身につけることができた。

2-3 バイオマス燃料としてのトチノミの評価

トチノミを、食料と競合しないバイオマス燃料として評価することを目的に、生徒たちが多角的な実験と分析を行った。トチノミはかつて救荒食として利用された歴史があるものの、現在ではほとんど食用にされていない。この地域資源に着目し、燃料としての可能性を生徒たち自身の手で探究した。

まず生徒たちは採集してきたトチノミ（図 4）と、複数の植物資源（ピーナッツ、コケ、木片など）とを比較しながら、エネルギー密度の測定に取り組んだ。燃焼皿・試験管・温度計を用い、加熱された水の温度上昇からエネルギー量を計算する方法を採用した。測定の過程では、燃焼距離の調整や試料量の統一など、誤差を減らすための工夫を自ら考え、実験条件の妥当性を確保していった。特にトチノミは粉碎処理を行うことで可燃性が改善されることを見だし、試料の前処理が燃焼効率に大きく影響することを理解した。



図 4 トチノミを採集してきたときの様

次に、生徒たちはトチノミを燃焼させた際に発生する CO₂の量を測定するため、自作した CO₂測定装置を用いて、他のバイオマス試料との比較を行った。得られたデータから、トチノミはピーナッツに比べて CO₂発生量が少なく、燃焼後のすす（炭素微粒子）の発生量も少ないことを確認した。このことは、トチノミが燃焼時に比較的クリーンなバイオマス燃料として機能する可能性を示している。

2-4 低温熱源発電装置開発の検討

地域資源であるトチノミを燃料とした新しいバイオマス利用の可能性を探るため、低温でも発電が可能な小型発電装置の開発を検討した。生徒たちはまず、市販の温度差発電キットを用いて、高温側と低温側の熱を液体で供給する液液型と、高温側、低温側のどちらかを液体もしくは気体によって熱を供給する気液型の低熱源発電装置（図 5）の評価を行った。発電の基本原理であるペルチェ素子の構造に触れたうえで、どのように熱源と冷却側を配置すれば効率が高まるかを議論した。



図 5 気液型温度差発電装置の検討実験

燃焼熱が高くないバイオマス試料を熱源とするため、限られた温度差でいかに発電を引き出すかが課題となった。生徒たちは、「熱源側を安定させるために燃焼容器の形を変えよう」、「冷却側の温度を下げるには保冷剤の量を調整した方が良いのではないか」、といった意見を出し合い、改良点を見つけていった。

特に、燃焼時間の長いトチノミを燃料として使った際には、高温側の温度が時間とともに大きく変化しないことに気づき、持続的に安定した温度差を確保できる燃料としての利点を自ら見いだした。こうした試行錯誤を重ねながら、生徒たちは低温熱源発電における熱管理の重要性を理解し、装置の改良に向けた基礎的な知見を獲得することができた。

2-5 新しい低温熱源発電装置の開発と評価

これまでの検討結果を踏まえ、トチノミをはじめとしたバイオマス燃料を熱源として活用できる新しい低温熱源発電装置（バイオマス燃焼型低熱源発電装置：図6）の試作に取り組んだ。装置は、燃焼皿・ペルチェ素子・冷却ユニットの三層構造とし、燃料の特性に応じて熱の伝わり方が変化する点を考慮しながら、部材の配置や材質を調整した。

試作した複数パターンの装置では、熱源側にピーナッツとトチノミを使用し、発生電圧の経時変化を比較した。その結果、ピーナッツは高い電圧が得られるものの短時間で燃え尽きた。一方、トチノミはピーク電圧こそ低いものの長時間にわたり安定した電圧を維持することが確認された。これにより、生徒たちは燃料

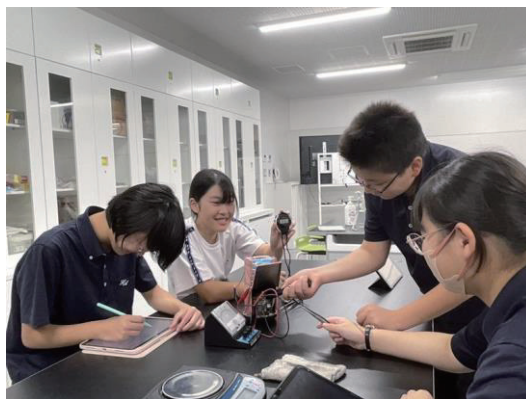


図6 バイオマス燃焼型低熱源発電装置

選択が発電装置の用途や目的に応じて変わること的理解し、装置評価の観点を自ら獲得していった。

また、発電量が安定しなかった試作機に対しては、「熱が上の方に逃げてしまうから、燃焼位置をペルチェ素子に近づけてみよう」、「冷却側が途中で温まってしまうので、放熱フィンを追加できないか」、など、生徒発案の改良案が次々に出され、改善を重ねることで装置の性能が向上した。

最終的に、生徒たちが試作した発電装置は、温度差が小さくても確実に電圧を得ることに成功し、トチノミを用いた持続的な発電の可能性を示す成果となった。この取組は、単なる実験作業にとどまらず、エネルギーの仕組みを理解しながら課題解決に向けて装置を設計・評価する探究活動として、生徒たちの成長につながる学びとなった。

3 まとめ

本校科学部では、地域資源であるトチノミに着目し、「食料と競合しないバイオマス活用」と「持続可能な発電方法の探究」を軸に、研究を発展させてきた。生徒たちは、装置の仕組みを理解し、試作と改良を繰り返しながら、科学的根拠に基づいて結論を導き出す探究的学習を主体的に進めてきた。以下に、これまでの研究成果をまとめる。

- ①「トチノミを利用した低熱源発電装置の開発と評価～SDGs と STEAM 教育の観点から～」
公益財団法人中谷財団 2025 年度科学教育振興助成成果発表会 日経サイエンス賞 (12/20)
- ②「液-液型・気-液型 低熱源発電装置の評価」
足利地区小中学校理科研究発表会 金賞 (1/17)、栃木県理科研究発表会 優秀賞 (1/17)
- ③「トチノミを利用した低熱源発電装置の開発と評価 第2弾」
足利地区小中学校理科研究発表会 金賞 (1/17)、栃木県理科研究発表会 最優秀賞 (2/19)

謝 辞

本研究は、公益財団法人中谷財団科学教育振興助成（助成番号：25K13）を受けて実施したものです。関係者の皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1)AI 普及とエネルギー需要への影響.ソフトバンク株式会社.2024
- 2)バイオエタノール研究動向と今後の展望.廃棄物資源循環学会誌(2021).Vol.32.pp.264-271.pp.100-114
- 3)種子に含まれるエネルギーの大きさ,足利地区理科研究,第 62 号 p.24
- 4)トチノミ加工食品販売の地域的特徴.Quarterly Journal of Geography(2016)Vol.68.
- 5)食物がもつエネルギーの大きさを調べよう.理科便覧 (浜島書店) .p.244