

次世代ビオトープ～ビオトープからエネルギー生産～



実施担当者 兵庫県立姫路工業高等学校
教諭 宇都宮 英人

1 はじめに

環境、バイオ、IT、ナノテクノロジー・材料・医療の幅広い分野において、基礎・基盤・応用研究が盛んに行われている。これらの技術革新は著しく、これまでの概念ではまとめられない新たな分野も構築されてきている。それらの分野の中でも、水や環境に関わる分野の中のバイオエネルギーに関しても、世界で精力的に研究・開発され、著しく発展・実用されてきている。とりわけ最近では、バイオマスを利用したバイオマスエタノールやディーゼルといったバイオマス燃料の利用も拡大しつつある。しかしながら、環境破壊や食料との競合による問題も生じており、新たなとりくみが必要としている。また、近年持続可能なエネルギー源の確保という観点で、高等学校においてもエネルギーや環境教育が盛んに行われている。そこで、本研究では、本校にあるビオトープの豊富な水源を用いたバイオマス燃料の生産と環境について研究することとする。本校ビオトープは兵庫県政 150 周年記念事業において、井戸の再整備を行い水量がこれまで以上に安定的に供給されるようになり、ビオトープの環境がさらに整い、現在ではホタル飛び交うビオトープとして地域交流もより深められている。一方で、排水量は学校のプールを数日で満たすことができる量にまで到達しており、排水の有効利用と可能性について課題とし研究は行われ、姫路工業高校における微細藻類からのエネルギー生産について報告する。

2 研究概要説明

初めに、本校ビオトープは約 10 年の歴史があり、2018 年に井戸の再整備を行い、水量は非常に増加し安定し、新しい可能性を検討するに至った。この水量（特に排水）を活用するために、将来的に水が大量に必要となると想定され、姫路工業高等学校の環境を最大限に活かした課題を選定し、新たな時代にも対応できる新しい機能が付与された、スマートビオトープとして考案し、継続的に科学的な側面が付与された新しい時代を迎えるための可能性を鑑み研究を行った。具体的には微細藻類を本校ビオトープ内から採取し、培養を行い、その微細藻類から脂質（炭化水素）を取り出し、燃焼実験を行い、分析装置にて既存燃焼との比較を行い、燃料としての可能性について研究した。微細藻類は、すでに世界中で研究され、一部実用化もされているが、本校のビオトープに新たな機能を付与し、次世代スマートビオトープとして新たな時代に対応させ、継続的に活用するために研究は行った。さらに、ものづくりの経験を活かし、より具体的に、スケールも考慮しながら実現可能性についても報告する。また、補足的に教育機関として、これらの研究を通じ、生徒の科学教育を背景とした指導にも影響をあたえたことも報告する。

2-1 姫路工業高校における微細藻類の培養・脂質の抽出・燃焼・分析実験

培養：ビオトープの水は、井戸の再整備により安定した水量を確保できた。また、水質については、培養実験の結果（図1）からも良好な結果が得られ、水量についても非常に期待を持てる結果であり、ビオトープから毎日校外に排水として流れ出している量は校内のプールを数日で満たすことができる量であることがわかり、水質・水量ともに非常に微細藻類の培養に活用できることが分かった。

図1には水質の違いによる培養結果の一部を示す。微細藻類の培養実験に使用した藻は、水中に生えているような苔や草みたいなものではなく、水中に存在している肉眼では見えないような壁面等に接着せず、水中に浮遊するような藻類を使用しました。光学顕微鏡による観察から、同じ種類の藻類が培養されていることが確認されました。さらに、培養条件を検討し、水道水では同様の環境で培養した場合、図1に示されているように、まったく異なる事が確認された。井戸水に培地を添加した環境と排水のみの環境では培養結果に大きな違いは見られなかった。これらのことから、ビオトープの排水には、微細藻類が生育するうえで必要な炭素源やビタミン、無機塩類や栄養素が十分に含まれていることが容易に考えられた。

今後どのような物質が含まれているのかを分析することとした。藻類には植物油も石油も含まれているものも多量存在しており、姫路工業ビオトープ内にもそのような微細藻類の存在を期待しながら行ったが、今のところ、培養はされていない。**脂質の抽出：**世界中で先端技術を駆使して遺伝子操作等で作成された微細藻類が多く存在していることは事実であるが、高等学校としてまた姫路工業高校のビオトープとしての独自性・おもしろさが失われてしまうので、また設備や時間が十分ではない環境でも行えるように、

ビオトープ内で見つけた微細藻類を培養し、その微細藻類からの脂質の抽出を試み、最終的には化学反応を利用し燃焼物質を得た。顕微鏡観察ではその可能性のある微細藻類の存在も確認されている。設備面等でそれ以上の培養は私たちには極めて困難であったので、脂質の取り出し方を文献等で調べ、脂質の抽出を試みた。^{1)~7)}（図2、図3）抽出溶媒として、参考文献等を参考に、クロロホルム、メタノール、ヘキサンを用いた。さらに、抽出後はロータリーエバポレーターを用い濃縮し、最後にエステル交換反応により、脂肪酸メチルエステル（バイオディーゼル）を得たと考えた。図5に示したように、非常に微細藻類からの燃料までの工程は多段階となっている。特に、エステル交換反応は多くの植物油からバイオディーゼル反応を利用した反応であり、非常に簡便であった。しかしながら、私たちが培養した微細藻類から得られた物質は、室温ではワックス状であるが、有機溶媒には可溶であることから、炭化水素の可能性があると推測され、後述の分析結果



図1 培養比較、水道水（左）ビオトープの排水（中央）井戸水+培地（右）

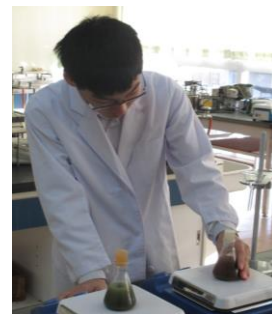


図2 微細藻類から脂質抽出実験の様子

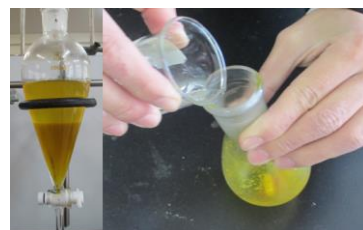


図3 燃焼物質の精製

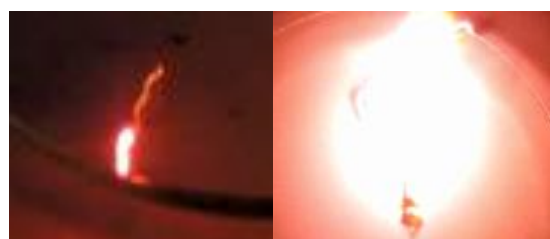


図4 燃焼実験、たこ糸のみ（左）、微細藻類由来バイオ燃料を浸み込ませたたこ糸

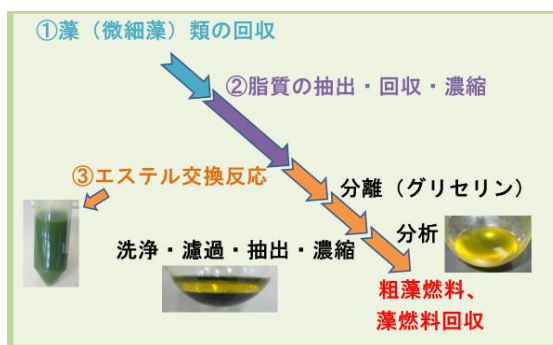


図5 微細藻類から燃料までの工程

よりその可能性が強く示唆された(図6)。

燃焼・分析実験：図4には、燃焼実験を示し、たこ糸のみの燃焼と得られた微細藻類由来バイオ燃料をたこ糸に浸み込ませ燃焼させた画像を示した。たこ糸のみの燃焼とは比べ物にならない燃焼が確認された。融点測定の結果、得られた物質の融点は約51℃であり、この融点はろう(融点52℃)に極めて近いことが分かった。ガスクロマトグラフ分析、液体クロマトグラフ分析を試みた。ガスクロマトグラフの結果から、図6に示したように、既存バイオ燃料(以下BF)として簡便に合成される、ごま油由来BFとオリーブオイル由来BFとの比較において、主成分については極めて近いガスクロマトグラフ分析の結果を得た。(図6丸中)一方で、精製工程の再検討も必要であることも確認できた。

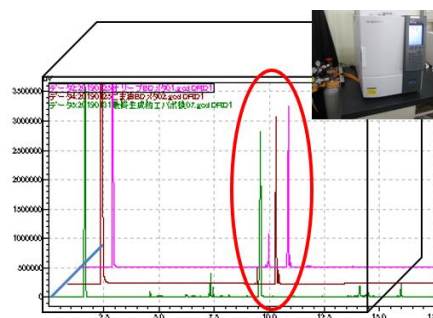


図6 バイオ燃料のガスクロマトグラフ分析チャート、微細藻類(前)、ごま油(中央)、オリーブオイル(後)

2-2 工業高校のものづくりを活かした装置の製作

微細藻類の大量培養のための装置の製作：実験室内での培養実験から屋外での培養のために培養水槽を製作した。図6のように200リットルのコンテナを用い、オーバーフロー型の培養水槽として、段々に配置した。用いたビオトープの排水はゆるやかに循環できるようにポンプをセットした。また、水温も夏場は特に温度制御は行わなかったが、冬季の気温が10℃以下になる様などときには、約28℃にヒーターにて加温し水温を制御しながら培養した。また、光合成に必要な二酸化炭素を空気中から取り込ませるため、オーバーフロー型の培養水槽として、ポンプにより最下段から最上段まではポンプによる循環を行った。コンテナの加工と設置を行いこれまでよりも100倍以上の量の微細藻類の培養が可能であることが期待された。



図7 培養水槽の準備風景

コンテナの加工は、想定以上に時間と道具が必要となり、生徒はとても苦労していた。特に、漏水問題が想定した以上に多く、ジョイントやポンプの繋ぎ方等を何度も工夫して製作した。



図8 培養水槽の概要

設置された培養装置の性能を実験的に確認し、十分に目的通りに循環が行われていることが確認されたので、実験室で培養されていた微細藻類を培養装置に入れ、数週間から数か月間培養を連続的に観察した。水温・水質・水量のチェックを行い、顕微鏡観察・目視・透過率等による観察をほぼ毎日続け、培養の様子を確認し続けた。

微細藻類の回収装置：微細藻類は非常に小さく、実験室で行っていたスケールでは遠心分離機を用い回収を行っていたが、スケールがアップした影響で、遠心分離機による回収では全く効率が悪く、同じように行っても時間ばかりが経過してしまっていて、スケールをアップした意味がなかったため、新たに回収方法の検討が必要となった。過去に全く異なる実験で濾過装置と

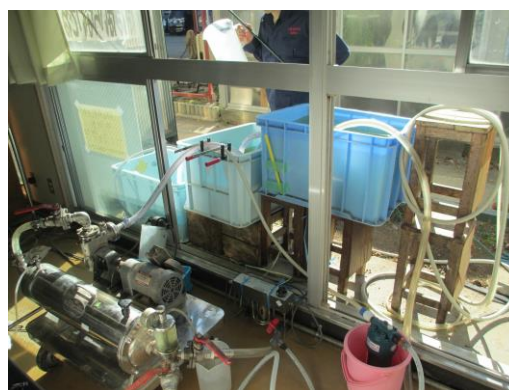


図9 培養水槽の設置状況

して使われていた装置を改良し、ろ過装置を製作し、濾過による回収を試みた。純水装置に用いられているろ過膜を用い、流用した装置に、ろ過装置に対応するように改良してから装着しポンプによる加圧ろ過により回収を試みた。改良に改良を重ねながら回収できるまで試みていたが、今般の事情により継続することが困難となり、研究もここまでとなってしまった。

3 まとめ

藻の培養については、ビオトープの水質・水量のおかげで、様々な条件を検討することができ、比較的簡単に培養することができることが確認された。また、水道水では微細藻類は育ちにくいということも確認され、近年の水道が非常にきれいということも併せて確認された。今後のスケールや分析結果次第ではさらなる可能性を持った微細藻類の発見も期待されるので今後のさらなる研究を待ちたい。脂質の抽出に関しては、多くの文献と比較しながら、簡便に行える方法をいくつか確認することができ、実際に抽出操作も行えた。最後には自分たちの育てた微細藻類から化学的に回収できた物質が燃焼する様子が確認でき、生徒たちは非常に達成感に満ち溢れるとともに、さらなる研究も自ら立ち上げようとしていた。私たちが想定していた常温で液体のバイオ燃料ではなかったが、燃焼する物質であることは確認されたので、今後のさらなる分析を期待したい。また、分析機器をさらに充実させることで、より明白に物質の構造と組成を同定することが可能となるので、これからも多くの協力を得て活動を続けていきたい。姫路工業のビオトープの排水を利用することで、一日当たり数十リットルのオイル様物質を得ることが可能であることが推察される。姫路工業高校の化学同好会と3年生の課題研究として、卒業生である3年生は卒業後も学校に来て研究を続けていたが、残念ながら新型コロナウイルスの影響で登校できなくなり、中途半端な形で最後を迎えてしまった事をすごく残念に思う。教育機関としての本格的な誰もわからない研究を行うという科学的研究を背景とし、生徒たちの科学への探求心を必ず満たすことのできる課題であることが確認され、さらなる継続・発展を期待したい。最後に、科学的に新たな時代に取り残されないように、このような研究を背景として、姫路工業高校ビオトープも継続的に機能が制御された次世代スマートビオトープを目指し改良・発展させていくことが期待され、これからの展開が待ち遠しい。



図 10 微細藻類回収装置の準備風景



図 11 次世代ビオトープ
へ注ぎ込む可能性の泉

謝 辞

本研究は、中谷医工計測技術振興財団の「科学教育振興助成」の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) バイオダイバーシティ・シリーズ (3) 藻類の多様性と系統
- 2) Microbiol. Cult. Coll. 26(1):1-10, 2010
- 3) Scientific Reports volume 7, Article number: 45471 (2017)
- 4) 日本生化学会編：新生化学実験講座 4 脂質 II リン脂質，東京化学同人 (1991).
- 5) 日本生化学会編：基礎生化学実験法 第5巻 脂質・糖質・複合糖質，東京化学同人 (2000).
- 6) 生産と技術、Vol.68 No.4 (2016), Mar. Drugs 2014, 12, 1258-1270
- 7) FrontiersinEnergyResearch, BioenergyandBiofuels, January 2015, Volume2, Article61