

バイオエタノールを媒体としたエネルギー変換と 生物育成の複合教材の開発

原田 信一^{*1}・星 祐介^{*2}・安東 茂樹^{*3}

Development of Compound Teaching Materials on Energy Conversion and
Nurturing Living Things through the Medium of Bio-Ethanol

Shinichi HARADA, Yusuke HOSI, Shigeki

抄 録：中学校技術科の生物育成，及びエネルギー変換を組み合わせる学習する複合教材の開発を行なった。生物育成の作物としてイモ類を育て，収穫したイモ類を主原料としたバイオエタノールの製造，及びそれをエネルギー変換の授業に活用することを検討した。そして，「B エネルギー変換に関する技術」と「C 生物育成に関する技術」を複合的に関連付けながら学習できるバイオエタノールの教材化を試みた。

キーワード：中学校技術科，エネルギー変換，生物育成，題材開発

I．はじめに

近年，地球温暖化現象に伴い，環境に配慮したエネルギーが注目されている。環境に配慮したエネルギーとして太陽光，地熱発電，風力，水力などが挙げられ，バイオ燃料も環境に配慮したエネルギーの1つとして注目されている。バイオ燃料を使用することによってCO₂削減につながり，また作物を作り続けることでバイオ燃料も永続的に作られることから太陽光や風力といった再生可能なエネルギーである。このように再生可能であることやCO₂の削減につながるエネルギーは学校現場の環境問題学習や，中学校技術科のエネルギー学習でも取り上げられている。

平成20年度に中学校学習指導要領解説技術・家庭編¹⁾が改訂され中学校技術・家庭科技術分野の「C 生物育成に関する技術」が必修化された。

「C 生物育成に関する技術」の学習内容の現状として稲葉³⁾は，茨城県内の調査では1/3以上の教員がほとんどあるいは全く栽培教育の指導を行っておらず，生物育成教育の準備を十分にしていると答えた割合は10パーセント以下であると指摘している。また，技術科教員が生物育成教育を難しいと考える理由として，経験不足と準備不足を指摘しており，今までほとんど栽培教育に取り組んでこなかった教員には困難な一面があり，適する教材の開発や実践例の紹介等の協力が必要であると言及している。

このような現段階における中学校技術科教育において「C 生物育成に関する技術」は学習指導要領に示されている4つの学習の中でも，これから変化する学習内容であり，適する教材

* 1 京都教育大学

* 2 元京都教育大学（学生）

* 3 広島国際学院大学

の開発や実践例の紹介が求められている。そこで本研究では「C 生物育成に関する技術」に着目し、新たな題材としてどのような教材を利用すれば題材開発できるかに至った。

中学校学習指導要領解説技術・家庭編では、「C 生物育成に関する技術」に関する内容を指導するに当たっては「生物育成に関する技術が食料、バイオエタノールなどの燃料、木材の生産、花壇や緑地等の生活環境の整備など多くの役割を持つことについて理解させるよう配慮する。」と示されている。技術科の教科書^{4),5)}において「生物を育てる技術の評価・活用」として、バイオエタノールとして生産されるトウモロコシや、バイオテクノロジーが取り上げられている。バイオエタノールの教材化について佐藤¹¹⁾は、バイオエタノールの製造を行う授業実践を行い、生物育成に関する技術がエネルギーとしても活用されていることを、実践的体験的な学習活動を通して行う教材開発をしている。西ヶ谷⁷⁾はバイオディーゼル確認用エンジンを製作し、生物育成で栽培したゴマからバイオ燃料を作り、できたバイオ燃料で動かす「A 材料と加工に関する技術」と「C 生物育成に関する技術」を複合的に学習できる題材開発を行っている。斉藤⁹⁾はサツマイモを栽培し、収穫したサツマイモを利用してバイオ燃料で製作したボイラー船を動かし、4つの学習内容すべてと関連付けて学習できる授業計画の提案を行っている。

以上のように、バイオ燃料を用いた技術科の授業計画の提案がいくつか研究として挙げられており、中学校技術科におけるバイオ燃料を利用した学習が可能であることが明らかである。

中学校学習指導要領解説技術・家庭編技術分野で示された「C 生物育成に関する技術」の学習におけるバイオエタノールとの関連性や、先行研究における「C 生物育成に関する技術」に関する学習内容の状況、バイオエタノールの教材化を踏まえ、「C 生物育成に関する技術」に関する学習内容の題材開発、生物育成に関して、バイオエタノールを学習内容として取り扱うことは、生物育成に関する基礎的・基本的な知識及び技術を習得させるとともに、生物育成に関する技術が社会や環境に果たす役割について理解を深め、それらを適切に評価し、活用する能力や態度を育成することにつながると考えられる。

そこで本研究は、生物育成の学習でイモ類を育て、収穫物からアルコールを作り、エネルギー変換の授業に活用することを目的とする。また、「B エネルギー変換に関する技術」と「C 生物育成に関する技術」を複合的に関連付けながら学習できるバイオエタノールの教材化を目指す。これを本題材におけるバイオエタノールを媒介とした複合教材化のプロセスとして図1に示した。

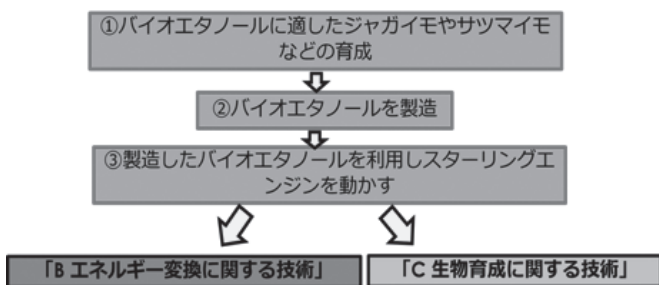


図1 バイオエタノールを媒介とした複合教材のプロセス

Ⅱ．バイオエタノール製造方法の検討

2.1 バイオエタノール

農林水産省の用語説明⁸⁾では、バイオエタノールは、植物等のバイオマス为原料として製造されるため、燃焼しても大気中の CO_2 を増加させない特性を持った燃料であり、ガソリンと混合して利用することにより、ガソリンの燃焼時に発生する CO_2 の排出を減少させる効果を有すると述べられている。バイオエタノール製造のプロセスを図2に示す。バイオエタノールは、一般に、サトウキビやトウモロコシ、米等の糖質又はデンプン質作物を原料に、これらを発酵させ、濃度99.5 %以上の無水エタノールにまで蒸留して作られる。また、近年では、廃材などの木質系バイオマスを原料に、セルロースを特殊な方法によって糖化させてから、エタノールを製造する技術も進められている。

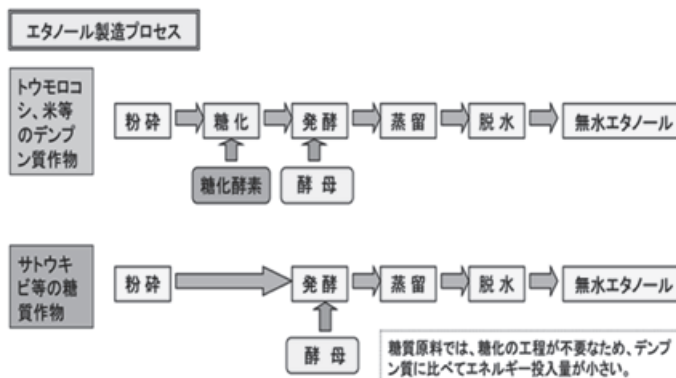


図2 バイオエタノール製造のプロセス

2.2 バイオエタノールの製造方法

バイオエタノールの製造方法は、基本的な技術は蒸留酒類とほぼ同じであり、原料は、デンプン質や糖類を多く含んだ作物を用いている。イモ類やトウモロコシなどのデンプン質原料では、デンプンを糖化酵素で糖に変換し、酵母を加えて発酵させ、蒸留装置で精製することで、エタノールを抽出する。また、サトウキビ等を原料とすると、粉砕時に副生される絞りかすをボイラー燃料に流用できるため、化石燃料の消費削減につながる。エタノールの製造過程を図3に示す。

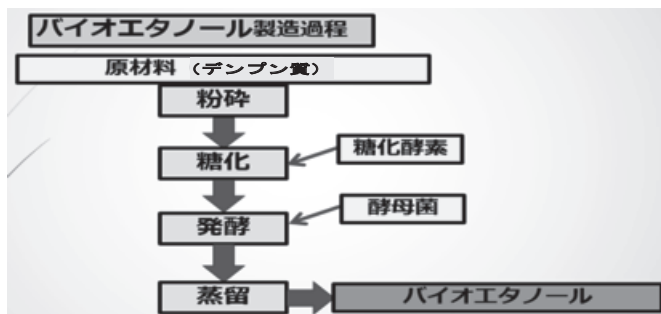


図3 バイオエタノールの製造過程について

これらのことから中学校においてバイオエタノールを製造するためには、入手しやすい材料を用いる必要があるため、生物育成の授業で栽培するイモ類を取り上げることにした。イモ類はプランターなどの容器栽培で育成することができ、デンプン質を多く含むことから、バイオエタノールの製造に適していると考えた。また、糖化酵素や酵母に関しては、入手が困難であるため、糖化酵素の代用品として米麴を、酵母の代用品としてホームベーカリー用のドライイーストを用いることとした^{2), 6), 10), 12)}。

本実験においてはサツマイモ、ジャガイモともに 500g を原材料として使用する。製造工程においてはデンプンを糖化させるために米麴を使用し、その糖化したものに水、ドライイーストを入れ、約 10 日間発酵させ蒸留装置を用い、バイオエタノールを抽出した。

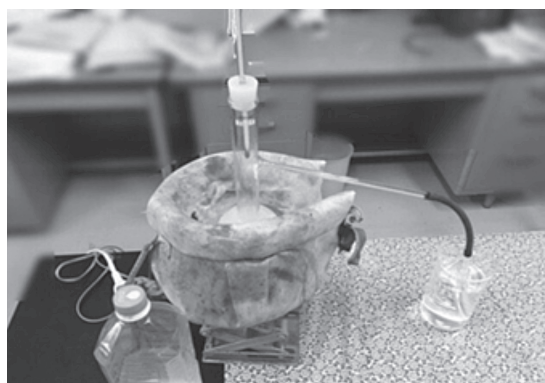


図 4 蒸留実験装置



図 5 ビー玉スターリングエンジン

2.3 袋栽培について

バイオ燃料の原料となる作物（サツマイモ、ジャガイモ）の 2 種類を栽培した。栽培方法は学校現場において、限られたスペースの中でも栽培ができるよう、市販の土袋（花と野菜の園芸培養土、25ℓ、元肥入り）をサツマイモとジャガイモそれぞれ 4 袋用い、袋栽培を行った。

2.4 バイオエタノールの材料

バイオエタノール製造で使用した材料を表 1 に示す。ジャガイモ、サツマイモを原料とし、米麴とドライイーストに関しては市販のものを使用した。

表 1 バイオエタノールの材料

	品 名	数量	備考
1	ジャガイモ	1kg	
2	サツマイモ	0.5kg	
3	米麴	0.3kg	市販品
4	ドライイースト	0.03kg	市販品
5	蒸留水	1ℓ	

2.5 バイオエタノールの抽出

バイオエタノールを抽出するために、蒸留機器を利用し、蒸留を行う。蒸留実験装置機器を図4に示す。枝つきフラスコの上部に温度計を取り付け、下部のガラス管まで温度計の先をもってくる。このような作業をする理由として、エタノールの沸点付近である78℃を計るために行う。ヒーターで暖められた発酵液が気体としてガラス管を通り、エタノールの受け取り付近である試験管内部で冷やされ、液体に変わることによって試験管にエタノールが製造される仕組みである。

2.6 動力実験装置

動力実験に用いたビー玉スターリングエンジンを図5に示す。ビー玉スターリングエンジンの特徴は、空気を加熱室と冷却室を移動させる手段としてビー玉を利用することで空気が圧縮したり膨張したりすることである。ほかのスターリングエンジンに比べ、ビー玉が音を立てて往復運動をする動作が楽しく、難しそうなイメージのあるエンジンの中でも、誰もが興味を覚えることができる教材である。本研究では、このビー玉スターリングエンジンを利用し、試験管の熱する工程をバイオエタノール燃焼に置き換えることで、熱エネルギーが運動エネルギーに変換されることを検証する実験を行う。バイオエタノールを燃焼させる方法として、アルコールランプを用いて、燃焼を行う。

2.7 手続き

バイオエタノールの製造に当たり、本研究を実施するために、アルコールの製造の許可申請を行った。

Ⅲ．題材開発

本研究では、バイオエタノールの材料を栽培し、アルコールを製造することで技術分野の「B エネルギーに関する技術」、「C 生物育成に関する技術」を関連付けて学習できる題材開発を行った。本題材の指導計画を図6に示す。サツマイモ、ジャガイモの植え付けを5月中旬に設定し、収穫期間は10月下旬から11月上旬に行うこととした。また袋栽培を行うことで、中学校学習指導要領技術・家庭編の「C(2) ア 目的とする生物の育成計画を立て、生物の栽培又は飼育ができること。」に関する内容を学習することができる¹⁾。

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
学習内容	C 生物育成		・栽培計画作成 ・植え付け		・換芽 (ジャガイモ)			・土寄せ・収穫					
	B エネルギー変換								・原料発酵 ・バイオエタノール 製造	・バイオエタノールに 対しての評価・活用 ・ビー玉スターリングエ ンジン燃焼実験			
学習指導要領 目標項目		C(2) ア 生物の育成計画を立て、生物の栽培又は飼育ができること。							B(1) ア エネルギー変換の方法や力の伝達の仕組みを知ること。				
									B(1) ウ エネルギー変換に関する技術の適切な評価・活用について考えること。				
									C(1) イ 生物育成に関する技術の適切な評価・活用について考えること。				

図6 年間指導計画

次に収穫した原料の発酵からバイオエタノールの製造までを11月中に行う。そして、12月上旬に作ったバイオエタノールを媒介として、ビー玉スターリングエンジンを動かすことで、動力源となったバイオエタノールから動力に変換されることが学習できる。この学習は技術科学習指導要領によると「B ア エネルギーの変換方法や力の伝達の仕組みを知ること。」に当たる¹⁾。

最後に12月は栽培した原料を使用し、製造したバイオエタノールを動力に変換する一連の学習を通して、エネルギーに対してどのように考えたのかをまとめる学習を行う。この学習においては中学校学習指導要領技術・家庭編における「B エネルギー変換に関する技術」と「C 生物育成に関する技術」の評価・活用について学習することができる¹⁾。本題材ではエネルギー変換の学習と生物育成の学習を複合的に学習することができ、時間数も多く確保でき、より深くバイオエタノールを通して評価・活用に関して学習できると考える。

IV. 結果と考察

4.1 エネルギー変換に関する結果

バイオエタノール製造の際の原料を適当な大きさに切り、やわらかくする為に煮立たせる作業を行った。この作業を行うことで原料を細かく粉砕しやすくなり、形が少し残る程度まで粉砕した。この粉砕した原料に、米麴250g、ドライイースト2gを加えた。この状態で、10日間ほど発酵させた。

バイオエタノールを抽出するため、蒸留機器を使用し、蒸留を行った。フラスコの容量が約300mlで、1回の蒸留から約0.5cc抽出することができた。抽出を行うタイミングは、温度計を見ながら80℃付近までのエタノールを抽出した。その後、試験管から抽出口を取り出し、この作業を繰り返し行った。抽出したバイオエタノールをエネルギー源としたビー玉スターリングエンジンを動かすため、約2mlのバイオエタノールを空のアルコールランプに染み込ませ、熱源として利用した。バイオエタノールの燃料分では熱量が足りないため、事前にアルコールランプでスターリングエンジンを調整してからバイオエタノールを燃焼させ、動力実験を行った。バイオエタノールは約2分燃焼したが、スターリングエンジンは動かなかった。バイオエタノール製造を行った結果、使用する材料は、身近に手に入り、また蒸留実験装置も中学校の理科室の実験器具にあるものでバイオエタノールを抽出できることが示唆された。バイオエタノール製造から動力実験を通して、作物がエネルギーに変換されることを体験的に学習することができた。ビー玉スターリングエンジンを用いた動力実験は作動しなかったが、バイオエタノールの燃焼は確認することができた。

4.2 エネルギー変換に関する考察

今回のバイオエタノール製造の実験では、1回の蒸留で0.5ccという少量のバイオエタノールしか抽出することができず、複数回蒸留作業を行わなければならなかった。また、ごく少量のエタノールではすぐに気化するので、燃焼を続けることができなかったのではないかと考えられる。さらに、1回の抽出量が少ないことから、生徒の興味・関心を低下させてしまう可能性が考えられる。しかし、バイオエタノールを少量しか製造することができないという事実

生徒自身が直面することで、普段自分たちの生活で使われている燃料を大切にしようとする気持ちが生まれるとするならば、エネルギーに関する技術の評価・活用の1つの成果として示されると考える。

動力実験でスターリングエンジンが動かなかった理由として、スターリングエンジンの調整不足の可能性が考えられる。アルコールランプを使用しても調整が難しく、スターリングエンジンの見直しも必要であったと考えられる。しかしバイオエタノールの燃焼は確認できたことからスターリングエンジンの調整しただけで動力実験は可能であると考えられる。

V. まとめ

本研究では環境に配慮したエネルギーであるバイオエタノールに注目し、中学校技術科の学習に取り入れるよう題材開発を行なった。そして、バイオエタノールの製造を原料の栽培から行い、バイオエタノールの抽出、動力実験を行うことで、「B エネルギー変換に関する技術」と「C 生物育成に関する技術」を複合的に学習することができることが分かった。題材開発に当たって年間指導計画を立て、本題材を取り入れることが可能であることも分かった。

「B エネルギー変換に関する技術」に関する学習ではバイオエタノール製造から動力実験を行うことで原料がエネルギーに変換され、作物がエネルギーとして利用できることを理解することができ、化石燃料のエネルギーと本題材のバイオエネルギーとのCO₂排出の比較から環境に配慮したエネルギーの必要性を考えられる視点を持つことができると考える。そして、バイオエタノールを取り入れた学習を行うことで環境に配慮したエネルギーの必要性を考えることは「B エネルギー変換に関する技術」の評価・活用または「C 生物育成に関する技術」の評価・活用の学習として示されていることが明らかになった。

本研究の実験を通して、バイオエタノールの原材料となる、ジャガイモとサツマイモの栽培では袋栽培を行うことで少ないスペースでも栽培学習が可能であることが分かった。また、バイオエタノールの原料として栽培することから、バイオエタノール製造を行うエネルギー学習とも関連付けることができる。

ジャガイモとサツマイモの栽培については、ジャガイモは栽培管理の機会が多く、教科書にも栽培例として取り上げられていることから題材として扱いやすい。しかし、本実験では植え付け時期のズレから収穫することができなかったため、栽培適期に実施する必要がある。また、サツマイモはどのような環境でも育つ特性から栽培も容易であり、収穫についてもバイオエタノール製造において十分な収量が見込めた。

バイオエタノール製造の実験を通して、身近にあるものでバイオエタノールの製造が可能であることが分かった。また、バイオエタノール製造に使用する材料は原料以外に、スーパーなどで購入でき、バイオエタノールを抽出する際に使用する蒸留装置においても中学校の理科室にある実験器具で実験を行うことが可能である。実際に製造したバイオエタノールを用いて燃焼実験も行うことができ、本実験の核である作物がエネルギーに変換される学習を、実習を通して学習することが分かった。しかし、バイオエタノールの製造において、アルコールの製造量のごくわずかであることから、生徒の達成感に影響するのではないかという心配や、バイオエタノール製造時のアルコール臭やバイオエタノール製造において許可申請が必要であると

いう諸課題もある。

最後にバイオエタノールを製造するにあたり、イモ類など身近な材料を活用して、中学校の理科室の実験器具にあるものでバイオエタノールを抽出することができることが明らかになった。また、環境に配慮したエネルギーについて、実習を通して体験的に学習することができ、エネルギーに関する技術と社会や環境との関連について理解が深まると思われる。しかし、本研究では学校現場での授業実践を行っていないので、本題材の授業を受けるに当たっての生徒の反応が確認できていない。そこで、今後は本研究を継続して、授業実践をしていきたい。

●引用・参考文献

- 1) 中学校学習指導要領解説 技術・家庭編（平成20年9月），教育図書
- 2) 大聖泰弘（三井物産株式会社），2004，図解 バイオエタノールの最前線，株式会社工業調査会
- 3) 稲葉健五，2011，学習指導要領の改訂に伴う生物育成技術の扱いについて-中学校技術科担当教員に対するアンケート調査-，茨城大学教育実践研究，第30巻，pp. 67 - 75
- 4) 加藤幸一，永野和男，佐藤文子，金子佳代子，佐藤勉，2012，新しい技術・家庭科技術分野（文科省検定済教科書）東京書籍
- 5) 間田泰弘，塩入睦夫，鶴田敦子，大竹美登利，2012，技術・家庭[技術分野]（文部科学省検定済教科書）開隆堂
- 6) 前川哲也，2003，「物質の状態変化」（中学校第二学年）蒸留でエタノールを取り出す，化学と教育，51 巻 4 号，pp. 246 - 247
- 7) 西ヶ谷浩史，江口啓，藤井道彦，八木佑樹，紅林秀治：持続可能な社会を考える中学校技術科の授業の試み-ゴマの栽培からバイオディーゼルを作る授業- 静岡大学教育実践総合センター紀要. 18, pp. 47 - 55
- 8) 農林水産省，バイオマスのエネルギー利用，バイオエタノールとはhttp://www.maff.go.jp/j/biomass/b_energy/pdf/bea_01.pdf
- 9) 斉藤与志朗，山田朗，2011，技術科におけるバイオ燃料を含む授業計画の提案 東京学芸大学紀要，自然科学系，63，pp. 101 - 106
- 10) 坂西欣也，澤山茂樹，遠藤貴士，美濃輪智朗，2009，トコトンやさしいバイオエタノールの本，日刊工業新聞社
- 11) 佐藤正直，山本利一，2014，バイオエタノールの教材化と授業実践 日本産業技術教育学会，第57回全国大会講演要旨集，pp. 109
- 12) 新エネルギー研究所，新エネルギーの種類，バイオマス発電<http://newenergy-laboratory.com/kind/bio.html>