

## 身近なものを使ったバイオリアクターの教材化

浦川 洋平 (岡山大学大学院教育学研究科) 柿原 聖治 (岡山大学教育学部)

本研究では、開発したバイオリアクターの利点や改善点を確認し、また高校生に「バイオエタノール」についての関心や理解を持たせることを目的とし、授業実践を行った。

その結果、従来のバイオリアクターと比べて、短い時間で明確にバイオエタノールの有無が確認でき、バイオエタノールの生産過程やその価値に対して、生徒は興味をもって考察する態度が見られるようになった。

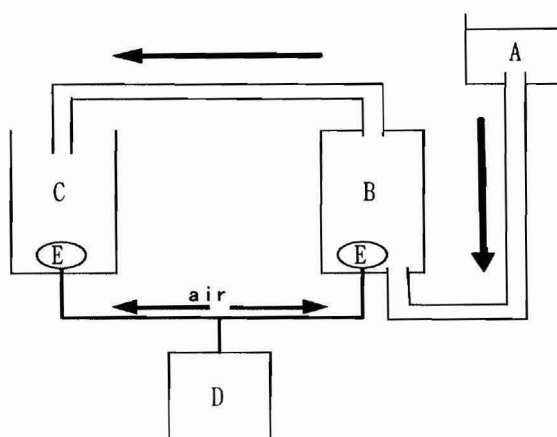
キーワード：バイオエタノール、バイオリアクター、高校理科、微生物

### I. はじめに

現在、石油に代わる新たなエネルギーである「バイオエタノール」が、多くの注目を集めている。バイオエタノールはサトウキビやトウモロコシなどの植物から生産されるため、CO<sub>2</sub>の排出量が“ゼロ”と見なされ、石油や石炭といった従来のエネルギーとは異なり、地球温暖化を抑制することができるエネルギーだと言われている。

バイオエタノールに対する社会の関心は、連日のように掲載される新聞記事などによって高められてきている。しかしながら、高校理科においてはほとんど取扱われていないため、高校生がもつバイオエタノールへの関心や理解は低いものであった<sup>1)</sup>。そこで従来の実験教材の欠点を克服し、多くのバイオエタノールを生産することができる、新しいバイオリアクターを製作した(Fig.1)。

本研究では、高校生を対象にして開発したバイオリアクターを用いた授業実践を行い、その中で見られる生徒達の発話や行動の記録、ならびに質問紙調査などを実施することで、開発したバイオリアクターの利点と改善点の有無を明らかにし、また「バイオエタノール」についての関心や理解を促すことを目的とした。



A: グルコース溶液 B: カラム C: 反応槽  
D: エアーホンプ E: エアーストーン

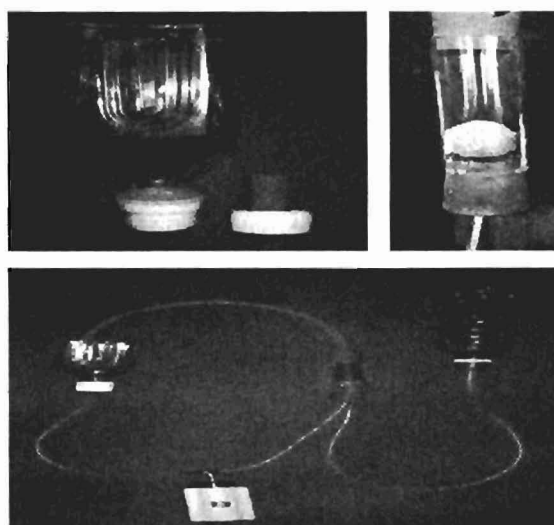


Fig.1 開発したバイオリアクター

## II. 授業実践の概要

### 1. 実践概要

- ①受講者：岡山県立高校2年生（理数科）
- ②授業時数：45分授業を連続2回
- ③質問紙調査内容：別紙参照
- ④実施期間：2007年10月

### 2. 回答結果

別紙参照

## III. 授業実践の構成

### 1. 第一次

#### ① 酵母菌の培養

YPD培地(Table 1)を作成し、市販のドライイーストを少量加え恒温機(25℃に設定)に入れ、酵母菌を培養する。

Glucose	20 g / ℓ
Yeast Extract	1.0 g / ℓ
Polypeptone	1.0 g / ℓ
	(pH7)

### 2. 第二次

#### ① カプセルの製作

前次で培養した酵母菌が入ったYPD培地に、アルギン酸ナトリウムを2%となるように加える。この溶液をピペットで吸い上げ、1%塩化カルシウム水溶液に滴下する。するとFig.2のような、酵母菌を内部に閉じ込めたカプセルが製作できる\*1。

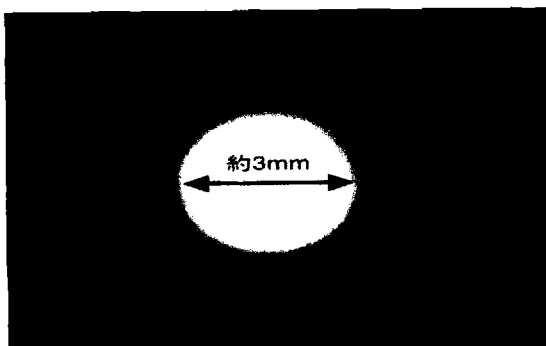


Fig.2 酵母菌を閉じ込めたカプセル

#### ② カプセル内酵母の培養

アルギン酸カルシウムで構成されたカプセルの外部にある分子は、カプセル内部へ移動することが可能である。そのため、酵母菌を閉じ込めたカプセルを培地に入れることによって、酵母菌はさらに増殖する。ただし、カプセル内は酵母菌にとって特殊な環境のため、YPD培地ではさほど増殖しない。そこで、カプセル内でも酵母菌が大量に増殖することができる培地(Table 2)を調合し、その中でカプセル内酵母の培養を行う\*2。

Glucose	100 g / ℓ
Yeast Extract	1.5 g / ℓ
Citric Acid	2.5 g / ℓ
NH <sub>4</sub> Cl	2.5 g / ℓ
NaHPO <sub>4</sub>	1.0 g / ℓ
NaCl	1.0 g / ℓ
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.25 g / ℓ
	(pH7)

\*1人工イクラの製作方法と全く同じである。食紅で染色し、だし汁にアルギン酸ナトリウムを溶かすと、本物のイクラと見た目が変わらず、食べることもできる。そこで、酵母菌を閉じ込めたカプセルを作製する実験と共に、人工イクラを作製させると、生徒達の興味・関心を引きやすい。

\*2 Table 2 に示した培地で培養を行うと、カプセルから気泡が現れるところが観察できる。これはアルコール発酵の過程で、糖が分解されて発生したCO<sub>2</sub>である。この現象は、YPD培地といった他の培地ではあまり見られない。そのため、目視することが困難であるアルコール発酵の学習を行うに際しては、ぜひこの現象を観察させたい。

3. 第三次

① 従来のバイオリアクターによるバイオエタノールの生産

3人1班で従来のバイオリアクター (Fig. 3, Fig. 4) を用いて、バイオエタノールを生産する実験を行う。

② バイオエタノールの確認

市販のスチームクリーナーとアルコールチェッカーを利用し、生産されたバイオエタノールの有無を確認する。

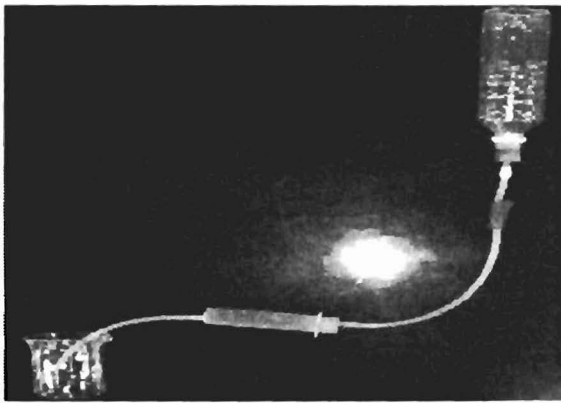


Fig. 3 グルコース移動型バイオリアクター

4. 第四次

① 開発したバイオリアクターによるバイオエタノールの生産

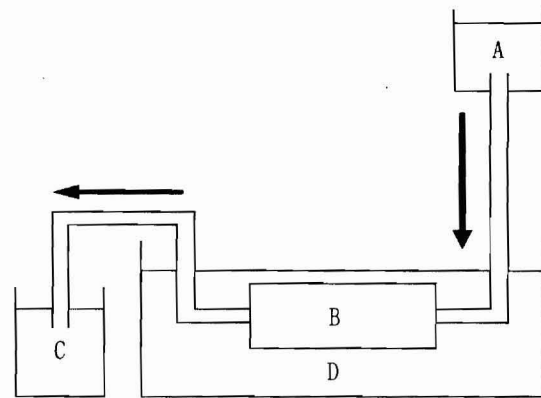
3人1班でバイオリアクターの組立て、実験を開始する。反応生成物のおいしさを嗅がせるなどし、バイオエタノールが徐々に生産されていることを確認させる。

② バイオエタノールの確認

得られた反応物をスチームクリーナーに入れ、気体にする。それをアルコールチェッカーに向け噴射し、気体中にアルコール (バイオエタノール) が含まれているか、その有無を確認する。

③ 質問紙調査

実験終了後、質問紙により開発したバイオリアクターの利点と改善点の有無を記入させる。



A: グルコース溶液

B: カラム

C: 流出液

D: 水槽

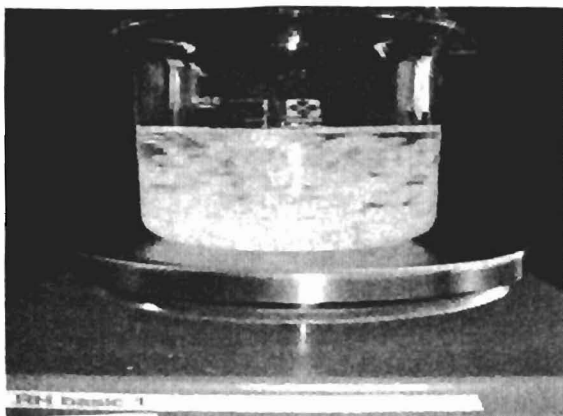
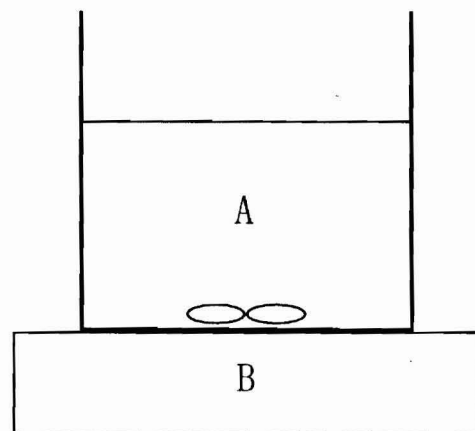


Fig. 4 グルコース固定型バイオリアクター



A: 反応槽

B: スターラー

#### IV. 授業の様子

##### 1. 従来のバイオリアクターによるバイオエタノールの生産

###### ①グルコース移動型バイオリアクター



Fig.5 移動型バイオリアクターの改善風景

実験を開始した当初は、順調に行えた。しかしながら、途中でグルコース水溶液が流れなくなるトラブルが発生した。このバイオリアクターは、グルコース水溶液を通すチューブに、カプセルが詰まることが多々ある。

生徒達が Fig.5 ように必死に解消しようとしたが、どうしても流れず、水槽内にカプセルが散乱してしまい失敗に終わった。

###### ②グルコース固定型バイオリアクター



Fig.6 固定型バイオリアクターの実験風景

このタイプのバイオリアクターは、20%グルコース水溶液を入れた容器にカプセルを加え、スターラーで攪拌させるのみの操作なので、反応を開始させ次の授業でバイオエタノールの有無を確認した。

##### 2. 開発したバイオリアクターによるバイオエタノールの生産



Fig.7 開発したバイオリアクターの実験風景

開発したバイオリアクターは、従来のバイオリアクターに比べ複雑な作りのため、当初は生徒達が装置のセッティングや発酵の様子を観察に苦勞を要するかと予期された。しかし、セッティングもこちらからほとんど指示をすることなく、Fig.1 を参考に自分で組立て上げた。

実験中に「アルコール発酵がここここで起きている」と言う生徒もおり、微生物がバイオマスエネルギーを生産する過程を理解しているように見受けられた。また生徒達は実験を円滑に進めるために、「液を流す容器を高くしないと流れない（サイフォンの原理）」などといったように、他の分野や日常生活で知り得た知識を応用させながら、積極的に実験に取り組んでいた。

### 3. バイオエタノールの確認



Fig.8 バイオエタノールの確認風景



Fig.9 確認方法の改善風景

スチームクリーナーとアルコールチェッカーを用いてバイオエタノールの有無を確認した(Fig.8)。当初はアルコールチェッカーを手で持って使う予定であったが、予想以上にスチームクリーナーの蒸気を「熱い」と言って恐がり、うまくバイオエタノールの有無を確認することができなかった\*3。

そこで生徒の中で、アルコールチェッカーを手で持たずに測定ができるように工夫し始めた。Fig.9はその中の1つで、アルコールチェッカーをビニールテープで固定をして測定を行っていた。こうすることで、手に蒸気がかからないため、生徒達は好んでこの方法でバイオエタノールの有無を確認していた。

測定の結果、グルコース固定型バイオリアクターでは、アルコールチェッカーに反応する場合はまばらで、示される値も低いのに対して、開発したバイオリアクターでは反応時間が30分にも拘らず、常によい値を示し続けた。

このように生徒自らの工夫を加えながら実験を行った結果、従来のバイオリアクターと比べて、簡単に効率よくエタノールを得ることに成功した。

### 4. 質問紙調査結果

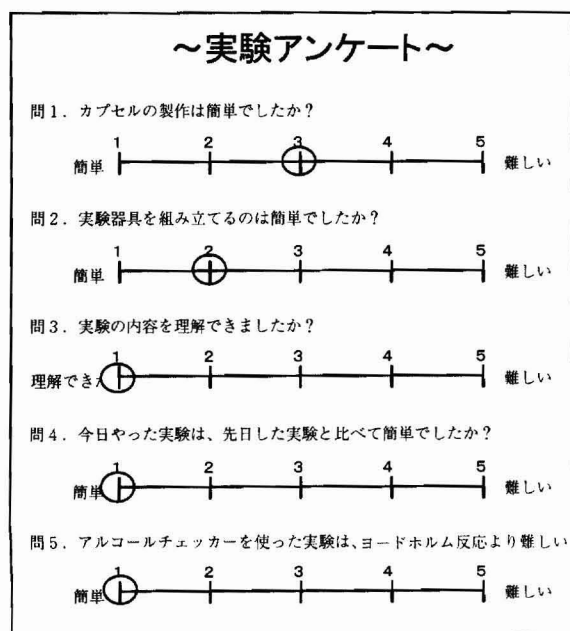


Fig.10 質問紙調査結果

実験終了後に行った質問紙調査結果の一例を、Fig.10に示した。開発したバイオリアクターは、従来のものと比べて多少複雑な作りをしているが、「苦もなく実験教材の組立てや操作することができた。」また従来の実験教材よりも「興味をもって実験に取り組めた。」といったような回答が得られた。

また微生物がバイオエタノールを生産している様子について質問したところ、「バイオエタノールがどういった過程を経てできているのが解った。」などと答え、バイオエタノールに関する関心や理解が高まっていると言える。

\*3 スチームクリーナーから噴射される蒸気は、噴射口付近では熱く感じられる。しかしながら、噴射口付近でなければ、実際は決して熱くない。アルコールチェッカーの感度は高く、噴射口付近で測定を行わずとも、アルコールの有無は十分確認できる。

## V. 考察

本研究を通じて開発したバイオリアクターは、高校生でも容易に組み立てられ、バイオエタノールの生産過程を理解させることができる教材だと判明した。授業実践を行う以前に、岡山大学の学生にこの実験教材の評価を募った。そこでは、「従来の実験教材(Fig. 3, Fig. 4)に比べ複雑であるため、実験操作が困難なものになるのではないのか。また、バイオエタノールの生産過程が難解になるのではないのか。」といった、非常に厳しい評価が多数あった。この点を懸念して授業に臨んだが、実際は高校生が行う実験として困難を要するものでは決してなく、従来の実験教材よりも多少複雑が故に、かえって興味や関心をひくものであった。

さらに1授業時間内で、明確な判別が可能になる濃度のバイオエタノールを生産できるところも、大いに好評であった。アルコール発酵は、「理科総合A」の「物質と人間生活」でバイオエタノールと言う“エネルギーの製造方法”としての他に、「化学Ⅱ」の「生活と物質」では食品生産方法として、また「生物Ⅱ」も「生物現象と物質」では重要な“生化学反応”として学習されるといったように、高校理科においては非常に重要な学習内容として位置づけられている。そのため生徒自らが操作し、アルコール発酵を実感できるこの実験教材は、高校理科において重要な役割を果たすであろうと言える。またこの実験教材は、工業的にバイオエタノールを生産する際に使用されるバイオリアクターと共通する方式をしているため、発展的な学習で取扱うことも可能であると考えられる。

この実験を通じて生徒達は、新しいエネルギーであるバイオエタノールについて関心と理解を示した。また、バイオエタノールを生産する過程を学習することで、自然界を構成する重要な位置を占める微生物の働きや役割を知り、そして科学や自然と人間との関わりについての視点も得ることができたと推察できる。これらの視点は、自然を総合的にみる見方を育成するためには必要不可欠なものであり、この視点を持たなければ高校理科の目標を達成し得ないのではないだろうか。

この実験教材を用いて行う学習は、微生物の働きについてだけに止まらず、エネルギー問題や環境問題といった、地球の全人類に課された大きな課題にも関わりがある。現在、そして将来を担う子ども達には、より早い段階でこれらの問題にどのように取

り組めばよいか考察してもらいたい。そこで、この実験教材を用いて行う学習を、中学校理科の「自然と人間」で展開することができないかと考え、今後の課題としたい。

## 謝辞

この研究を進めるにあたり、調査協力をしていただいた全ての方々に、心から感謝の意を表したい。

## 引用・参考文献

- 1) 浦川 洋平・柿原 聖治(2007)『高校理科における「微生物」の取り扱いに関する研究』岡山大学教育実践総合センター紀要 第7巻
- 2) 柿原 聖治(2007)「スチームクリーナーの利用法：水の状態変化」、物理教育、Vol. 55, No. 4, pp. 310-311
- 3) 文部省(1999)『高等学校学習指導要領解説 理科編・理数編』大日本図書株式会社
- 4) 文部省(1999)『中学校学習指導要領 解説-理科編-』大日本図書株式会社
- 5) 長倉三郎 他(2003)『理科総合 A』東京書籍株式会社
- 6) 石川 統 他(2004)『生物Ⅱ』東京書籍株式会社
- 7) 平野 正(1988)『酵母のバイオテクノロジー・基礎と応用』学会出版センター
- 8) 千畑 一郎(1986)『固定化生体触媒』新日本印刷株式会社
- 9) 日本生物工学会(1993)『生物工学実験書』培風館
- 10) 清水 祥一(1993)『バイオリアクターシステム』共立出版株式会社
- 11) 日本農芸化学会(2002)『人に役立つ微生物のはなし』学会出版センター

Title: A Do-it-yourself Bioreactor that Can Be Used for Teaching Purpose

Yohei URAKAWA (Graduate School of Education, Master's Course)

Seiji KAKIHARA (Faculty of Education, Okayama University)

Abstract: We considered the advantages and disadvantages of the bioreactor we developed, and made some improvements. Compared with the conventional one, our bioreactor did not take long to check for the presence of bioethanol.

We put the bioreactor into practice to high school students. We examined how students react to the bioreactor and bioethanol. As a result, it was found that it's easy for students to observe the process of producing bioethanol in our bioreactor. Students got the grasp of the values associated with the bioethanol, and became interested in it. Judging from the questionnaire, they came to take a positive attitude to bioethanol and topics related to them.

Keywords: Bioethanol, Bioreactor, High School Science, Microorganism

---

