

# 理科高等学校 生物基礎（細胞とエネルギー）

## ○単元計画・構成

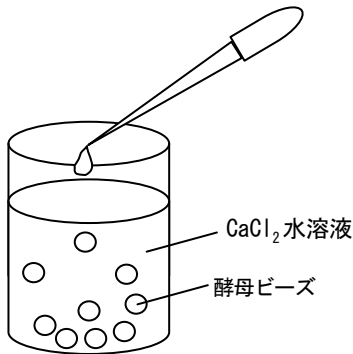
提案項目	内容
実施時期	5～6月ごろ
キーワード	微生物, 発酵, バイオマスエネルギー, バイオエタノール
エネルギー教育実践パイロット校4つの課題との関連	<p><b>C-4</b></p> <p>太陽光発電や風力発電等の新エネルギーは、エネルギー自給率の向上や地球温暖化対策の観点から長期的にはエネルギー源の一翼を担うことを目指して着実に推進していること。</p> <p>現時点では、新エネルギーはエネルギー供給の2%程度を占めるにとどまり、経済性や供給安定性などの課題も多く、当面は補完的なエネルギーとしての位置づけであることに留意することが適当であること。</p>
単元計画・構成 (全8時間 +課外学習)	<p><b>第1次 微生物がエタノールをつくりだすしくみ（2時間）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・出芽酵母（ドライイースト）の観察</li> <li>・キューネ発酵管を用いたアルコール発酵の実験</li> </ul> <p><b>第2次 エタノールを効率よく取り出すには（2時間）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・酵母ビーズを用いた簡易バイオリアクターの作成（<b>本時案1</b>）</li> <li>・蒸留によるエタノールの抽出実験（<b>本時案2</b>）</li> </ul> <p><b>第3次 何を原料に用いるか（糖化と酵素, バイオマス資源）（3時間）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・麹菌の観察とアミラーゼによるデンプンの糖化</li> <li>・バイオマス資源（デンプン系からセルロース系へ）（<b>本時案3</b>）</li> <li>・セルラーゼによるセルロースの糖化（ろ紙分解試験）（<b>本時案4</b>）</li> </ul> <p><b>第4次 バイオマスエネルギーの現状と将来的な展望（課外学習+1時間）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・近隣の研究所を訪問・見学し、発酵技術や木質系バイオマスの先端研究の動向を学ぶ（課外学習）</li> <li>・単元のまとめ（ディスカッション）</li> </ul>
他の単元との関連	<p>中学1年生「植物の体のつくりと働き」</p> <p>中学2年生「動物の体のつくりと働き」（生命を維持する働き）</p> <p>中学3年生「エネルギー」（エネルギー資源）</p> <p>中学3年生「生物と環境」（自然界のつり合い）</p>
子どもが獲得する見方や考え方	<p>&lt;エネルギー教育の視点&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・酒造りなど、微生物のはたらきを利用した伝統的な発酵・醸造技術を用いて、バイオエタノールなどのバイオマスエネルギーが生成できることを理解する。</li> <li>・植物資源から生成され、自動車の燃料として利用されるバイオエタノールが、理論上はカーボン（CO<sub>2</sub>）ニュートラルであることを理解する。</li> <li>・バイオエタノールなどのバイオマスエネルギーの開発・普及において、効率化や大量生産、低コスト化などの解決とともに、有限な生物資源の保存や食糧問題などの諸課題への対処が必要であることを見いだす。</li> </ul> <p>&lt;理科の視点&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・微生物の多様性と共通性、人間生活とのかかわりについて理解する。</li> <li>・糖化やアルコール発酵の反応過程を理解する。</li> <li>・微生物の働き（代謝）が一連の酵素反応であること、微生物が生命活動の営みとして多様な酵素を分泌していることを理解する。</li> <li>・アミラーゼやセルラーゼなど、酵素の特性を理解する。</li> </ul>

<p>教師の持つ 指導ポイント</p>	<p>&lt;エネルギー教育の視点&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・古くから酒造りなどで用いられてきた微生物による発酵・醸造技術を用いて、バイオエタノールなどのバイオマスエネルギーが生成できることから、伝統的な発酵・醸造技術とその研究が、持続可能な社会を支える基盤技術となりうるものであることを理解させる。</li> <li>・バイオエタノールを自動車の燃料として用いるとCO<sub>2</sub>が排出されるが、その原料となる植物資源は、光合成によって大気中のCO<sub>2</sub>を材料にしてつくられた有機物であり、理論上は、カーボン (CO<sub>2</sub>) ニュートラルであることを理解させる。</li> <li>・バイオエタノールなどのバイオマスエネルギーの開発・普及において、効率化や大量生産、低コスト化などの解決とともに、有限な生物資源の保存や食糧問題などの諸課題への対処が必要であることを見いだすことにより、エネルギー問題の解決を含めた持続可能な社会の実現に向けて科学的に探究する能力や態度を育成したい。</li> </ul>
	<p>&lt;理科の視点&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・糖化や発酵などの微生物のはたらきは、生命活動に必要なエネルギー (ATP) を取り出したり、そのための栄養分を摂取したりするといった、代謝の一種であること、それらが古くから人々の生活を支えてきたことを理解させる。</li> <li>・代謝の過程で起こる様々な反応は、酵素の触媒作用によって進み、様々な微生物が特定の物質に応じて特定の酵素を分泌させていることから、酵素そのものの特性や微生物の多様性、共通性を理解させる。</li> </ul>
<p>評価規準</p>	<p>&lt;エネルギー教育の視点&gt;</p> <p>(自然事象への関心・意欲・態度)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオエタノールなどのバイオマスエネルギーに関心を持ち、研究開発や実用化の事例などを自ら調べようとしている。</li> </ul> <p>(科学的な思考・判断・表現)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオマスエネルギーの開発・普及における諸課題や対処法を見出し、科学的な立場から意見を述べることができる。</li> </ul> <p>(観察・実験の技能)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオマス資源からエタノールを取り出すための基礎的な操作に習熟している。</li> </ul> <p>(自然事象についての知識・理解)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・微生物のはたらき (糖化, 発酵) を利用して、バイオエタノールが生成されるしくみを理解している。</li> <li>・バイオエタノールが理論上カーボンニュートラルであることの原因を説明することができる。</li> </ul>
	<p>&lt;理科の視点&gt;</p> <p>(自然事象への関心・意欲・態度)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・糖化や発酵の現象に関心を持ち、そのしくみや微生物と人間生活とのかかわりについて意欲的に調べようとする。</li> </ul> <p>(科学的な思考・判断・表現)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実験結果をもとに、エタノールを効率よく取り出す方法 (微生物の固定化, 蒸留) や糖化に必要な酵素の種類などを提案することができる。</li> </ul> <p>(観察・実験の技能)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・蒸留実験の危険性を理解し、安全かつ適切な操作を行えている。</li> </ul> <p>(自然事象についての知識・理解)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実験結果をもとに、糖化や発酵の原理を説明することができる。</li> <li>・酵素の特性や微生物の多様性・共通性を理解している。</li> </ul>

○本時の学習指導案1（指導項目） 単元のテーマ名：細胞とエネルギー

第2次 エタノールを効率よく取り出すには

- ・酵母ビーズを用いた簡易バイオリアクターの作成（3時間目/全8時間）

学習過程	指導と支援 準備物，教師のはたらきかけ・関連資料，指導上の留意点
<p>1. 事前準備</p> <p>2. 実験準備</p> <p>3. ビーズの作成</p>  <p>CaCl<sub>2</sub>水溶液 酵母ビーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・上図のように，酵母液とアルギン酸ナトリウム水溶液の混合液を塩化カルシウム水溶液に滴下すると，ビーズ状になる。</li> </ul> <p>4. 本時のまとめ</p>	<p>○酵母液（ドライイースト5gに水15mLを加えてかき混ぜたもの）を作成する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・アルギン酸ナトリウムは難溶のため，教師があらかじめ溶液を作成しておく。</li> </ul> <p>○本時では，有効な方法の1つとして，酵母を固定化することを説明する。</p> <p>○「アルコール発酵で，エタノールが生成されていることを確認するためにどのような実験方法が有効か」という前時の問いについて，生徒の考えを確認し，共有する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・1.5%アルギン酸ナトリウム水溶液500mlと酵母液を混合する。</li> </ul> <p>○混合液50mLを1.0%塩化カルシウム水溶液200mLの中へ一滴ずつ滴下し，大きさが均一なビーズを作成する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・形状が球状で，大きさが均一になるように，一滴ずつ慎重に滴下するように指導する（操作は生徒全員に経験させたい）。</li> <li>・アルギン酸については未習のため，ビーズができるしくみは「塩化カルシウムとの反応により，表面が疎水性の膜になる」という程度の説明にとどめておく。</li> <li>・発酵が始まると，液中でビーズが上下運動するようすが観察できるため，反応が起きていることを確認させたい。</li> </ul> <p>&lt;準備物&gt; ドライイースト（市販のもの），アルギン酸ナトリウム，塩化カルシウム，グルコース，振とうフラスコ，ピペット，ビーカー，薬さじ</p> <p>○「発酵によってエタノールが生成された場合に，できるだけ純粋なエタノールを取り出すにはどのような方法が適切か」という問いを与え，次時で，エタノールを高濃度で取り出す実験を行うことを伝える。</p>

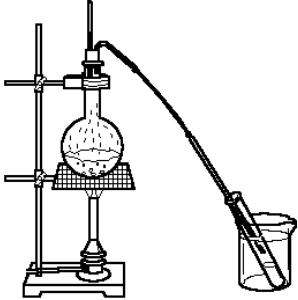
次時の準備：次時で，エタノールを高濃度で取り出す方法について考察する。

- ・茶こしで酵母ビーズだけを取り出し，水洗して，塩化カルシウムを取り除く。
- ・10%グルコース水溶液150mL（フラスコ内）に酵母ビーズ（グルコース水溶液の半分を埋める程度）を入れる。
- ・綿栓で栓をし，インキュベーター（37℃）内で約24時間反応させる。

○本時の学習指導案2（指導項目） 単元のテーマ名：細胞とエネルギー

第2次 エタノールを効率よく取り出すには

- ・蒸留によるエタノールの抽出実験（4時間目/全8時間）

学習過程	指導と支援 準備物，教師のはたらきかけ・関連資料，指導上の留意点
<p>1. 実験前の考察</p> <p>2. 蒸留実験</p>  <p>WEB版「地学わいわい広場 in 福島」  <a href="http://homepage1.nifty.com/kowl/chem/jikken02.htm">http://homepage1.nifty.com/kowl/chem/jikken02.htm</a> より引用</p> <p>3. サンプル採取と記録</p> <p>4. 再蒸留実験</p>	<p>○フラスコをインキュベーターから取り出し，酵母ビーズと液体を分離し，液体 50mL を蒸留用フラスコに入れる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・蒸留の操作の前に，においにより，エタノールが生成されていることを確認させておく。</li> <li>・リービッヒ冷却器を用いてもよいが，図のように，中学校の学習内容であるワインの蒸留で用いる簡易な装置でよい。やけどなどに十分注意し，安全な操作を行うように指導する。</li> <li>・最初の蒸留では，1本目の液体が集まり出す温度が 85～90℃になるため，高濃度のエタノールが得られていないことが容易に判断できる。</li> </ul> <p>○蒸留により，試験管（4本）に順に，5mL ずつ液体を集め，ゴム栓をしておく。</p> <p>○それぞれの試験管に液体が集まりだした温度（℃）（あるいは 5mL 集め終わったときの温度（℃））を記録する。</p> <p>○それぞれの試験管について，「におい」，「少量皮膚につけたときのようす」，「脱脂綿に含ませてマッチの火を近づける」を確認する</p> <p>○各班で 1本目の試験管に集めた 5mL の液体を合わせて 50mL にし，これまでの操作を再度行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・再蒸留では，10班分の試験管の液体を合わせると 50mL になる。時間の都合上，教師が演示することが望ましい。</li> <li>・再蒸留では，1本目の液体が集まり出す温度が 75～80℃になる。得られた液体を少量脱脂綿に含ませてマッチの火を近づけると，3分以上燃焼を続けるため，高濃度のエタノールが得られていることが容易に判断できる。</li> </ul> <p>&lt;準備物&gt;          発酵液，試験管，（枝付き）丸底フラスコ，ガラス管，ゴム管，ゴム栓，ビーカー，ガスバーナー，金網，温度計，脱脂綿，燃焼皿，マッチ，スタンド</p>

5. 本時のまとめ

○実験結果より，発酵によってエタノールが生成され，なおかつ2回の蒸留で高濃度のエタノールが得られたことを理解させる。

・次時では，アルコール発酵に必要なグルコースを得るためにどのような過程（糖化）が必要かを学習することを伝える。

○本時の学習指導案3（指導項目） 単元のテーマ名：細胞とエネルギー

第3次 何を原料に用いるか（糖化と酵素、バイオマス資源）

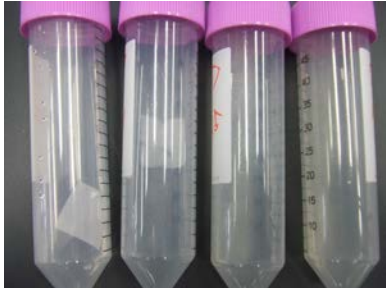
・バイオマス資源（デンプン系からセルロース系へ）（6時間目/全8時間）

学習過程	指導と支援 準備物，教師のはたらきかけ・関連資料，指導上の留意点
<p>1. アルコール発酵過程の理解</p> <p>2. バイオエタノール生成の仕組み</p> <p>3. バイオエタノールのメリットの認識</p> <p>4. バイオエタノールの課題の検討</p>	<p>○ワイン，ビール，清酒など醸造酒の発酵形態の分類から，どの形態においても，アルコール発酵の過程が共通であることを理解する。</p> <p>○サトウキビやトウモロコシといった植物資源（バイオマス）からエタノール（バイオエタノール）が生成されることを理解する。</p> <p>・発酵の過程はどれも同じ（グルコースからエタノールと二酸化炭素を生成する）であり，何（多糖類）を原料にして，何を用いてグルコースまで糖化するかが異なっていることに気づかせ，バイオエタノールの話題へとつなげていきたい。</p> <p>&lt;参考資料&gt; 独立行政法人酒類総合研究所「エヌリブ」（広報誌） <a href="http://www.nrib.go.jp/sake/sakeinfo.htm#bisei">http://www.nrib.go.jp/sake/sakeinfo.htm#bisei</a></p> <p>・酒造りに用いられる伝統的な発酵・醸造技術がバイオマスエネルギーの開発に応用されていることに気づかせる。</p> <p>&lt;参考資料&gt; 宮古島バイオエタノールプロジェクト（糖蜜を原料としたバイオエタノール生成）HP <a href="http://www.bioethanol-miyakojimapj.jp/index.jsp">http://www.bioethanol-miyakojimapj.jp/index.jsp</a></p> <p>・既習事項である光合成，糖化，発酵（嫌気呼吸），燃焼の化学反応式を用いて説明する。</p> <p>・サトウキビやトウモロコシといった植物資源が同時に食料資源であり，食料と競合しない原料を用いることが必要であることに気づかせる。</p> <p>○バイオエタノールがカーボンニュートラルであることを理解する。</p> <p>○バイオエタノール生産の課題について考察する。</p>

○本時の学習指導案4（指導項目） 単元のテーマ名：細胞とエネルギー

第3次 何を原料に用いるか（糖化と酵素，バイオマス資源）

- ・セルラーゼによるセルロースの糖化（ろ紙分解試験）（7時間目/全8時間）

学習過程	指導と支援 準備物，教師のはたらきかけ・関連資料，指導上の留意点
<p>1. 木質系バイオマスからのエタノール生産の認識</p> <p>2. ろ紙分解試験</p>	<p>○木質系（セルロース系）バイオマス資源を利用したバイオエタノール生産について理解する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・間伐材や雑草などに含まれるセルロースがセルラーゼなどの酵素によってグルコースに分解される過程を説明する。アミラーゼによるデンプンの分解と比較すると理解しやすい。</li> </ul> <p>○ろ紙分解試験を通して，セルロースの糖化の過程および酵素剤であるセルラーゼのはたらきを理解する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・50mM 酢酸緩衝液（pH5.5）を4本の遠沈管に10mLずつ分注する。</li> <li>・4本の遠沈管それぞれに，0mL（入れない），0.1mL，0.5mL，1.0mLの各分量，セルラーゼ剤を添加し，混ぜ合わせる。</li> <li>・4本の遠沈管それぞれに，2cm×2cmのろ紙を1枚入れ，50℃で20～30分程度湯煎する。</li> </ul> <p>&lt;参考資料&gt; 独立行政法人産業技術総合研究所バイオマス研究センターHP <a href="http://unit.aist.go.jp/btrc/">http://unit.aist.go.jp/btrc/</a></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・セルラーゼ剤は，用途や含まれる酵素の種類とその割合によって様々な製品があるが，本実験では，アクセルレース 1500（ジェネンコア製）という酵素剤を用いている。酵素剤は，各社が製造・販売を行っているので，以下を参考のこと。</li> </ul>  <p>0mL 0.1mL 0.5mL 1.0mL</p> <p>&lt;参考資料&gt; 酵素剤メーカー連絡先一覧 <a href="http://www.nfri.affrc.go.jp/yakudachi/koso/Renraku_saki.index.html">http://www.nfri.affrc.go.jp/yakudachi/koso/Renraku_saki.index.html</a></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・上写真のように，0.1mLではわずかに分解し，0.5mLおよび1.0mLではほとんど分解する。</li> </ul> <p>&lt;準備物&gt; セルラーゼ剤，酢酸緩衝液，ろ紙，遠沈管，マイクロピペット，実験用浴槽</p>

3. バイオマス資源利活用に対する課題・問題点の考察

生徒の意見の例

- ・グルコースあるいはエタノールの生成効率, 酵素剤のコスト (酵素を作り出す微生物の発見), 生成過程におけるエネルギー (湯煎など) の使用, 森林保護 (資源の持続的な確保) など

・グループディスカッションを行い, 科学的な視点から多様な意見を共有することが望ましい。

○木質系 (セルロース系) バイオマス資源が普及していく上での課題や問題点について考察する。