

セルロースからのエタノール生産 ～身近な草木からエコなアルコールをつくろう～

東京都立科学技術高等学校 科学技術科 第3分野

発表者 中島 康太郎

指導者 伊勢 博祥

1. はじめに

本校は都立高校で初めて「科学技術科」を設置した新しいタイプの学校として平成13年に開校した。大学進学に必要な学力をつけながら科学技術の基礎を学び、将来の科学技術者・研究者として活躍する人材を育てる理系に特化した学校である。また、平成19年から2期連続で文部科学省よりスーパーサイエンスハイスクール（SSH）の指定を受けている。

専門科目である科学技術科では、1年次に、材料・流体・熱力学系、電子・情報工学系、化学・バイオ系の3つの分野をすべて学び、さらに、2年次からは学びたい分野の一つを選び、より専門的な理論や技術を学んでいる。

2. 科目「課題研究」

2年生と3年生で設定されている履修科目「課題研究」では、全生徒がそれぞれの分野の内容に沿ったテーマを設定し、グループや個人でその研究を行っている。そして、2年生と3年生の最後には報告書の作成と発表会を行っている。特に3年生では、全校生徒や本校教員だけでなく本校のSSH運営指導委員として御助言をいただいている大学教授の方などに対して口頭発表やポスター発表を行っている。

さらに、近年では学校外で行われる研究発表会にも積極的にエントリーし、参加した生徒はプレゼンテーション能力の向上や研究内容の改善に、より意欲的に取り組んでいる。

3. 研究テーマの設定

本校の課題研究は、毎年、生徒が研究テーマを考え設定することが多いが、中には先輩の取り組んできたテーマを引き継いで研究する場合もある。本研究は2期継続した研究である。

現在、世界の主要なエネルギー源は石油燃料である。しかし、石油の利用によって排出される二酸化炭素は地球温暖化の原因となり、環境問題の中でも大きな課題となっている。また、石油が将来的には枯渇する恐れもある。

そこで、近年では石油に代わる新たなエネルギー源の一つとしてバイオエタノールが注目されている。バイオエタノールはトウモロコシなどの糖質の多い植物を原料として作られ、これを利用して排出される二酸化炭素はカーボンニュートラルの観点からその排出量はゼロとしてカウントされる。このことから“地球にやさしい燃料”として世界中で注目され、アメリカではバイオエタノールの生産が本格化している。

しかし、アメリカでバイオエタノールの生産が本格化したことによって新たな問題が生じてきた。バイオエタノールの原料とされるトウモロコシはそれまでは人間の食糧や家畜の飼料として利用していたものであったが、これがバイオエタノールの原料として利用されたことでトウモロコシの輸出量は減少し価格も上昇した。

このような問題を解消するために、新たに「第二世代バイオエタノール」が注目されている。

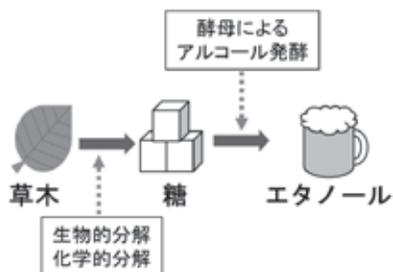


図1 第二世代バイオエタノール生産の流れ



図2 実験の様子（微生物の観察）

これはトウモロコシなどの糖質の高い原料ではなく、ワラなどの人間の食糧と競合しないセルロース系原料を用いて生産するものである。

そこで、身近にあるが普段は不要なものとして処分されているものを有効活用できないかと考え、環境問題解決に貢献するために校庭周辺に生えている雑草を用いた第二世代バイオエタノールの生産を目的として研究を始めた。

4. 2年生での研究

先輩がこれまでに行ってきた研究では硫酸を用いた「化学的糖化」による実験を行っていた。そこで、2年生ではセルロースの分解酵素であるセルラーゼを持つ微生物を培養してセルロースの糖化をする「生物学的糖化」について重点を置いて研究を行った。微生物は独立行政法人製品評価技術基盤機構より購入した *Aspergillus oryzae* と *Trichoderma reesei* を用いた。

また、11月に行われた第4回東京都高等学校理科研究発表会の化学部門に出場し、ポスター発表を行った。その結果、奨励賞を受賞し第40回高等学校総合文化祭への出場が決まった。そこで、全国高等学校総合文化祭での発表に向けて外部での発表にも積極的に取り組んだ。

- * 第4回東京都高等学校理科研究発表会化学部門（奨励賞受賞）
- * サイエンスキャッスル 2015 関東大会（研究奨励賞受賞）
- * 平成27年度 SSH 東京都内指定校合同発表会
- * 首都圏オープン生徒研究発表会
- * 平成27年度関東近県 SSH 校合同発表会

以上5つの研究発表会に出場した。

5. 3年生での研究

3年生ではこれまで行ってきた糖化工程をより効率的に進めるために、様々な実験条件を設定して研究を進めた。さらに、これまで硫酸を用いて行っていた化学的糖化について環境への負荷を考慮した方法を考え、自然界で分解されやすいと考えられるシュウ酸や酢酸、クエン酸などの有機酸を用いて実験を行った。

また、3年生では外部で研究発表を行う機会がなかったため、校内で行われた課題研究発表会において口頭発表を行って全国高等学校総合文化祭に向けて発表の準備を進めた。

6. 第40回高等学校総合文化祭

7月30日にいよいよ大会が始まった。大会会場の広島大学のキャンパスに私たちが到着した時には他県の生徒たちが多く到着していた。それを見てこれから科学のことを研究している全国の同世代に向けて自分たちの研究について発表するということが一気に現実味を帯び、興奮と緊張感がわいてきた。大会は3日間開催され、私たちの発表は2日目であった。

大会1日目は開会式がまず行われた。その後、各研究発表が行われ、化学部門と生物部門の口頭発表を聞いて、多くの研究でレベルが高く且つ高校生らしい研究をしていると思った。

大会2日目、いよいよ自分たちの発表の日となった。私たちは出番直前まで発表練習をし、ついに私たちの出番がまわってきた。1日目に感じた緊張と興奮は演台の前に立った瞬間に最

高潮に達した。しかし、不思議なことに発表を始めた瞬間にその緊張は消え、これまでやってきた研究を今日の前にいる人たちに伝えたいという冷静かつ熱い気持ちへと変わっていった。発表直前まで何度も集中して練習をしたため、本番では練習以上の発表ができた。審査員の先生方からは「難しい研究をしているね」と評価していただいた。他にも「ガスクロマトグラフィーで分析したときの検量線と生チャートを示すこと」や「生成したバイオエタノールの濃度だけではなく分量も示すこと」などのアドバイスもいただいた。その後は記念講演や生徒交流会が行われ大会2日目が終わった。

そして大会3日目は午前中に巡検研修を行い「独立行政法人人類総合研究所」を見学し、自分たちの研究においても共通するアルコールの製造について最先端の研究やより専門的な知識を得ることができた。巡検後は昼食をとってから表彰式が行われ「文化連盟賞」を受賞した。

第40回全国高等学校総合文化祭での発表という大きな目標を終え、これまで頑張ってきた研究を多くの人に伝えられたことに大きな達成感を得られた。残念ながら「最優秀賞」は受賞できなかったが、これまで頑張ってきた研究を高校1年生のころから憧れていた全国高等学校総合文化祭という大きな舞台上で発表できたということは私にとって大きな自信になった。

7. おわりに

(1) 生徒の感想

今回は課題研究でバイオエタノールのこと



図3 第40回全国高等学校総合文化祭にて

を研究し、その事を通して多くのことを学ぶことができた。

まず1つ目は、余裕をもった計画を具体的に立てなくてはいけないということである。これは色々な物事に言えることだが、特に今回の研究では「第40回全国高等学校総合文化祭」に出場するという最終的な目的が決まっていたため、それに向けて計画を立てなくてはならなかった。しかし、計画が具体的でなく実験内容を早期に決められなかったことや予定を立てたもののその研究対象が生物であったこと、自分たちの実験技術が不足していたことなどの問題によって予定がずれてしまい、計画通りに研究が進められなかった。そのため、計画は具体的且つ余裕を持たせることが大切だと学んだ。

そして2つ目は、見た人が誰でも理解できる記録をするということの大切さである。今回、実験の条件や結果などあらゆることを記録するため実験ノートを作成した。しかし、ノートは存在していたもののその内容がとても大雑把で、ポスターやスライドを作成するときに必要とする情報を探すのにとっても時間がかかってしまった。この原因は実験を行った際に実験ノートに記入する人がそれぞれ別々の様式で記録をしていたためであった。このことで記録者以外の第三者が見たときに分かりにくい記録となり、記入者がいないとノートの意味が分からないということが起きてしまった。このことから記録を取る際には第三者が見ても理解ができるような客観的な記述をしなければならないことを学んだ。

ここまで書いてきたことはどれも失敗から学んだことである。しかし、課題研究自体が失敗だったわけではない。たしかに当初の計画よりも実際にできたことは少なかったが、第40回全国高等学校総合文化祭では納得のいく発表ができた。さらに、発表した後には大きな達成感を味わえた。このことは私の高校生活の中のと

ても大きな財産となった。

このように、いくつかの失敗を重ねてしまっただけでも、その失敗を経験できたことも、その失敗から多くのことを学ぶことができたこともすべて課題研究のおかげである。このような貴重な経験が高校時代にできたことは今後においてもとても重要なことである。課題研究という専門高校ならではの経験ができ、改めてこの高校に入学してよかったと実感している。そして、この経験が自分の進路を考える際にも大いに役立ち、より具体的に自分の将来の目標や夢を考えることができた。これからも自分の進む専門分野でこの経験を生かし、より高い専門知識と技術を身につけていきたい。

(2) 教員の感想

本研究テーマについては約2年半かけて指導をしてきた。当初はあまり高い目標は設定せずに研究を始めたが、最終的には第40回全国高等学校総合文化祭に出場するまでとなった。そのような中で、研究をする上ではただ実験を行ってまとめていくだけではなく、他人に対して発表するということがとても重要だということを実感することができた。本生徒は全国大会以外でも計5回程度、口頭発表やポスター発表を外部で行った。外部での発表では校内で行っている発表よりもより専門的な質問を受けたり、データの処理方法等について具体的にアドバイスをもらったりすることができた。この経験がよい刺激となり、回数を重ねるにつれてより研究に意欲的に取り組み、自信を持って研究している姿が見られた。

しかし、研究内容についてはさらに改善すべき点も多く、より深い内容の研究をするために

はさらに時間をかけて研究をする必要があった。外部の発表においても、研究データをたくさんとることが最も重要で、そこからデータを分析し科学的根拠をもって考えることが大切であるとの講評をいただいた。また、工業に関する研究では、その研究が社会にどのように貢献するのかを考え、将来の産業的な利用についても考える必要があるとの意見もあった。

学校教育として行っている研究活動では、当然、時間の制約があるため研究に取り組んだ生徒が最後まで結果を出せない場合もある。そのため、結果を最後まで出し、研究を完成させるためには後輩が引き継ぐなどして研究を継続しなければならないだろう。だからこそ、学校教育として行っている研究活動では、生徒に研究を行うためのプロセスを学ばせることや、得られた結果から実験計画を適切に立て直すことを学ばせることが重要だと考えている。

また、今回は生徒が熱心に研究に取り組んだことで、自分の進路についても具体的に将来の目標を立てて考えることができていた。課題研究での活動がそのまま進路に結びつくことは、専門教科の指導として理想的な形である。

現在の社会においては「問題解決能力」や「行動力」、「コミュニケーション能力」などが求められている。「課題研究」はまさにこれらの社会が求めている能力を身につけられる科目である。これからも、産業教育を担う教員として社会に求められる人物像や高い専門的な知識と技術を身につけた人材を育成し、日本の将来を担う技術者や研究者を育てられる教育者でありたい。

工業教育資料 通巻第 370 号
(11月号)

2016年11月5日 印刷
2016年11月10日 発行
印刷所 株式会社インフォレスト

©  実教出版株式会社

代表者 戸塚雄式

〒102 東京都千代田区五番町5番地
- 8377 電話 03-3238-7777

<http://www.jikkyo.co.jp/>