

100円ライター大解剖

—— 新入生セミナーのための1コマ体験学習 ——

尾崎 徹*

(平成23年10月31日受付)

Major Anatomy of 100 Yen Lighter

—— A Class of Learning by Experience Programmed in Freshman Seminar ——

Tōru OZAKI

(Received Oct. 31, 2011)

Abstract

The seminar entitled “Major Anatomy of 100 Yen Lighter” has been held in the first semester of our Institute since 1999. The purpose of the seminar is to motivate students to learn physics and materials science in a class of learning by experience. Five or six pairs of students are requested to clarify the lighting mechanism of a piezoelectric 100 yen lighter within 90 minutes. Each pair takes the lighter apart to pieces and finds the energy conversions playing essential roles in the lighting. The seminar was programmed in Freshman Seminar of two departments of electronics from 1999 to 2009 and selected as the most impressive one by the students from 2000 to 2005. The seminar also has been held as Laboratory Inspection built in HIT Intensive Program for students from the University of Illinois since 2002. The educational effects activating both Japanese and American students are shown in the seminar reproduced on this report.

Key Words: freshman seminar, learning by experience, 100 yen lighter, resolution, piezoelectricity, energy conversion

1. はじめに

新入生セミナーが日本の多くの大学に開設されたのは1990年代である。そのころ、第2次ベビーブームによって一時的に増加した18才人口が減少に転じて大学進学率が40%をこえた[1]。また、大学入試センター試験が定着して大学の序列化が進んだ。新入生セミナーでは、新入生が大学で学ぶ動機を持ち続けることができるように、教員はそれぞれの研究分野の過去・現在・未来を語った。2000年までに、18才人口は1990年の25%減少し、大学入学者数は20%増加した。その結果、大学進学率が50%に迫った。そのころから、新入生が自立的に学習して就業力を身につけるための支援が始まり、ノートの取り方、レポートの書き

方などの学習技術や自己形成をするためのアドバイスがセミナーの内容に加わった。ゆとり教育を受けた学生が入学し始めた2006年以降は、新入生セミナーの重点を研究分野におく大学と学習技術におく大学の2極化が進んでいる。

本学では、電子工学科が1984年前期に「ゼミナールI」という名称で新入生セミナーを開講した[2]。その10年後、全学に、「総合ゼミナール」が開講された[3]。それを全教員が担当して研究分野の紹介をし、また基礎学力を身につける大切さを説いて、新入生との距離を縮める努力をした。本学では、電子工学科が先行して実施した実績の上に立ち、本学に適した形態と内容を設定してスタートすることができた。それに対して、多くの大学では、1960年代に米国の大学で開設された Freshman Seminar Program

* 広島工業大学工学部電子情報工学科 (物理担当グループ)

を手本にして急ごしらえでスタートした〔4-6〕。2010年からは、本学に初年次セミナーとキャリアデザインⅠが開講されて、学習技術と就業力を身につけさせることに重点がおかれるようになった〔7〕。総合ゼミナールは、電気系2学科では「入門ゼミナール」と名称を変えて2006年から2009年まで実施されて、翌年に廃止された。その原因は、初年次セミナーとキャリアデザインⅠ、Ⅱ、Ⅲを学科の教員が担当することになり、そのために負担が増えたこと、また1年間に各学科が開講するコマ数の上限が設定されて時間枠がなくなったことであると言われている。一方、初年次セミナーと並行して総合ゼミナールを続けている学科もある。本学では、重点を研究分野におくものと学習技術におくものが、しばらく混在すると思われる。私見としては、研究分野に重点をおく新入生セミナーを「2年次セミナー」として初年次セミナーと専門ゼミナールの間に開講すれば、2年生の学業成績の低下に歯止めをかけることができるかもしれないと考えている。本学において開講された新入生セミナーの27年間の変遷を表1にまとめておく。

表1. 広島工業大学工学部に開講された新入生セミナーの変遷

1984-1993	ゼミナールⅠ（電子工学科）
1994-2005	総合ゼミナール（全学）
2006-2009	入門ゼミナール（電気系2学科）
2006-	総合ゼミナール（機械系2学科）
2006-	総合ゼミナールⅠ（都市デザイン工学科）
2006-2009	総合ゼミナールⅠ（建築工学科）
2010-	初年次セミナー，キャリアデザインⅠ（全学）

私は、1999年から2009年の11年間、本学の電気系の2学科が前期に開講した総合ゼミナールと入門ゼミナールを担当して、延べ1200名の学生と接した。毎年、100名あまりの新入生を10数班に分けて、毎週1班を担当した。そのセミナーのタイトルが、本報告書の「100円ライター大解剖」である。100円の圧電式ライターを分解して、その結果を議論しながら、着火の機構を1コマ90分間で明らかにした*。それは物理学や電気材料学への入門であると同時に、今どきの学生に不足している体験学習の役割を果たした。2000年から2005年の前期末に毎年実施されたアンケートによると、受講生の50-70%が最も印象に残ったセミナーとして選んでくれた。それは、実験を通して知識を体得することの大切さと面白さが学生に伝わったことを示している。現在、新入生セミナーとしての出番はないが、ゼミ配属を希望したごく少数の3年生に専門ゼミナールの1コマとして行なっている。また、2002年の前期から、イリノイ大学短期留学生プログラムの Laboratory Inspection の中で“Major

Anatomy of 100 Yen Lighter”と題して体験学習を1コマ担当している〔8〕。毎年、留学生のほぼ全員が参加して、私が本学で1年間活動するために必要な精神的なエネルギーの大半を与えてくれる。この報告書では、大勢の向学心に火をつけた「100円ライター大解剖」を再現する。その中で、日米の学生の反応と教育効果を紹介する。それを踏まえて、教育効果を向上させるための提案をする。新入生セミナーをHIT教育の目玉にするための参考にさせていただきたい。

2. 100円ライター大解剖の目的とシナリオ

物質には、硬い柔らかい、電気を流す流さないなどの性質があり、それらを物性という。エレクトロニクスにはいろいろな物質が使われており、それらが示す物性が有効に利用されている。「100円ライター大解剖」の目的は、新入生が行動することによってそのことに気づき、物理学や材料科学を進んで学ぶための動機を得ることである。そのために、セミナーでは、新入生が自ら圧電式の100円ライターを分解し、その結果を私と議論しながら統合して、ライターが着火する仕組み明らかにする。その過程で、物質が示す物性に機能を持たせることができること、そして複数の物性を組み合わせることによってエネルギーを変換することができることを知る。それらが90分で実現して、ただの分解に終らせないようにするために、短いガイダンスをしておく。また、新入生がセミナーで体験した意義についても話をする。「20世紀に入って、物理学者が物質のマクロな性質である物性を原子・電子のミクロな構造から明らかにしてきた。それを指針にして、技術者は便利なものをたくさん発明した。その結果、私たちは豊かな生活ができるようになった。その典型がコンピューターである。21世紀以降も、物理学と工学が良好な関係を築くことによって、さらに豊かな社会が実現するはずである。そのために、物理学や材料科学に興味を持って学んでほしい。」時間がきたらレポートを要求する。学生は工具をしまい、分解した部品を分別してゴミ箱へ捨てる。評価はセミナーでの言動と後日に提出されるレポートを合わせて行なう。向学心に火がついたことが具体的に分かるときは、それが瞬間的であっても、高く評価する。

3. 100円ライター大解剖の紙上再現

3.1 導入

「100円ライターには2種類があります。」と言って、フリント式ライターと圧電式ライターを取り出す（図1）。それ

* このような体験学習は、課題解決型学習（Project/Problem Based Learning）と呼ばれる。本報告であつかう100円ライターは株式会社東海の製品である。2011年9月26日以前に購入したため、チャイルドレジスタンス機構がなく、PSCマークがついていない。来年度からは、PSCマークがついた製品を使用する。



図1. 100円ライター

左：フロント式ライター。右：圧電式ライター。

らを交互に着火して見せながら、着火の仕組みが違うことに気づかせる。フロントは火打ち石のことであり、ここでは直径3mm、長さ5mmのセリウムと鉄の合金でできた小さい円柱である。親指で丸いヤスリを回してフロントを削ると、シュッと音がして高温の削りクズが線香花火のように飛び、それがボタンガスに引火する。「こちらは、ボタンを押すとカチッと音がして火がつきます。どのようにして火が着くんでしょうか。これからライターを分解して、その仕組みを90分間で明らかにしましょう。」そこで、セミナーのタイトル「100円ライター大解剖」に込めたメッセージを伝える。「解剖は単なる分解ではなく、分解して分析するという意味です。遊びなら分解で良いですが、今日はプロになったつもりで解剖をしましょう。」「大解剖の大は、大規模の大ではなく、大いにつまり皆で活発にすることです。ライターは小さくて安いけど、その解剖を皆で生き生きやりましょう。」

つぎに小さい実験をする。ライターの内部から2本の導線をはわけて蛍光灯の両端にハンダづけしたものを取り出す(図2)。カーテンを引き電気を消して暗くなったら、みんなにライターのボタンを繰り返し押ししてもらおう。暗闇の中でカチッカチッと音がして蛍光灯がポツポツと光る。それをみんなが体験した後で最初の議論をする。「今の実験から何が分かりましたか。」「……………」「難しいことは聞いてないよ。」「光。」「光がどうした。」「光った。」「うん、どうして光ったんだろう。」「……………」「ライターの中で何が起ったんだろうか。」「……電気。」「そう、電気が発生したんだよね。ライターに電気が発生する仕組みが分かったら、きっと着火の仕組みが分かるよね。」学生うなずく。

イリノイ大生から必ず音について指摘を受ける。「カ

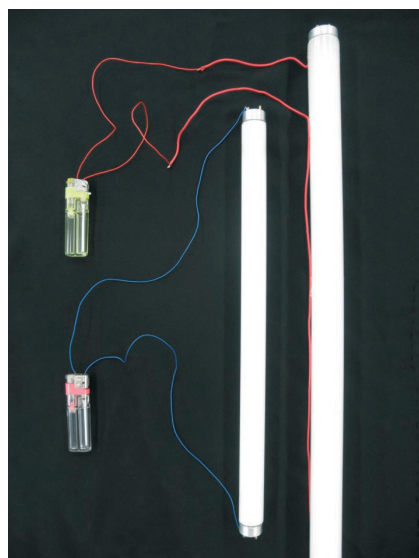


図2. 圧電式100円ライターをつないだ蛍光灯

チッ」ではなく「クリック (click)」だと言う。そう聞こえるのかとたずねると、そうだと言う。私にはカチッとしか聞こえないのでカチカチと言いつけるが、未解決の問題である。

3.2 ガイダンス

このセミナーが分解ではなく解剖の時間になるようにアドバイスを。そのために目的、手順と勘所をまとめたプリントを配布する。そのプリントを付録1に掲載した。イリノイ大生を相手にするときは付録2の英語版を使い、付録1はお土産として持ち帰ってもらう。それらを参加者に一人ずつ声を出して読んでもらい、つぎのような補足をする。

(1) 大解剖の目的

これまで何かを分解した経験がある人がいれば、手を上げて話をしてもらおう。昔は時計やシャープペンシル、今はゲーム機や携帯電話が多い。分解のしがいのある物がだんだん減っていることが分かる。つぎに、ライターを解剖するためには高級な測定器は不要であり、それよりも一人一人が五感を働かせることが大切であると言う。五感は視覚、聴覚、嗅覚、味覚、触覚を感知する5種類のセンサーと頭脳というコンパクトな高性能コンピューターからなっており、それと同等な機能を持つものは未だに作られていないことを紹介する。つぎに、夢中になると目的を見失ってただの分解になるので、着火の仕組みをフローチャートにして表すことを提案する。

(2) 分解・分析と統合

部品の役割を部品同士の連動した動きの中で理解する必要があり、それが分かるように分解することが大切である。そのためにも五感を働かせる必要がある。ドライバー、ペンチ、テスターなどの簡単な道具がそれを助けて



図3. 工具のセットとテスター

くれる(図3)。電気を発生していると思われるライターの心臓部を見つけることが肝心である。40分たったらライターの縦断面を白板に描き、ボタンを指で押してからカチッと音がして着火するまでの部品同士の連動した動きを説明するように約束をする。

本学の学生は手を上げない。指名しても話をしてくれない。それは、彼らがシャイだからとベテランの先生から聞かされたことがある。一方、イリノイ大生はみんな手を上げてしゃべって楽しそうに盛り上がる。その方が健全に競争をしているように見える。日本で手を上げるのは小学校までと言われるが、それは慣れだと思う。私の講義では、勘所にさしかかったところで、○、×、分からない、の3択クイズを出して手を上げてもらう。正解した学生が多いときは「素晴らしい。」と言って誉める。間違った学生が多いときは、「オーディエンスにならんねえ。何回言わせるんですか。」と言いながら、もう一度説明する。「ここで3択です。」と言うと、しだいに鉛筆を止めて注目するようになる。理解したいと思っているのだ。

3.3 分解

100円ライターを2人に1個ずつ配り、奇数人のときは1人でする人を決める。そのためにかかる。本学の新生の場合は、名乗りをあげてくれないので時間がかかる。イリノイ大生の場合は、逆に、全員が元気よく手を上げるので時間がかかる。どちらの場合も、私が指名することになる。1回のセミナーの受講者数は10名あまりなので、分解するライターは5、6個である。

心臓病の人がいないことを確認して分解の開始を宣言する。まず、ボタンを押してライターが着火することを確認する。つぎに、ガスが出ないようにバルブを一杯に絞る、ボタンをカチカチ押ししながら、ノズルの先を観察する。ボタンから出た尖った金属とノズルの間に放電が起るのを見て、電気が発生していることを確認する。以後はバルブをゆるめてガスを出すことがないように注意する。そして、部品同士の連動した動きを調べることに集中すること、ボタンを押してからカチッと音がして着火するまでをフローチャートに表すこと、また分解後に元に戻すことができなくて良いことを念押しする。しばらく放っておくと、感電して大きな声がでたり、笑い声がおきたりする。また、前向き姿勢が見えてきて、大解剖になる予感がある(図4左)。

ときどきテーブルを回ってアドバイスをする。ネギを切るように長さ方向と直角に切り刻む学生には、部品同士の連動した動きを見るためにはどの方向に切ればよいかと問う。時間がたっても分解が進まず、ライターの心臓部の回りをウロウロしている学生には、元に戻す必要はないのだから心配せずに進むよう促す。結局は、切り刻んでバラバラになった部品の山ができる場合が多い。図5の右は、部品の連動した動きを見せるために、わざわざスケルトンにして組み立てたものである。

イリノイ大生が上手に分解をするのを見ると、日本の将来が心配になる(図4右)。かつては、日本人が上手にして



図4. 大解剖の風景

左：100円ライター大解剖。右：Major Anatomy of 100 Yen Lighter.



図5. 分解した圧電式100円ライター
左：バラしただけの状態。右：スケルトンにした状態。

きたことが若者に継承されていないように見える。私たちは中学校の技術家庭科でもの作りの基本になることをいろいろ教わったが、今はどこで何を教わっているのだろうか。

3.4 分析と統合

分解してバラバラになった部品を並べて見ながら、ライターの着火に本質的な構造の縦断面図を白板に描いてもらう。指名されたペアが、あらかじめ私が描いておいたアウトラインの中に、部品を描きこむ。間違っているときは、

皆から教えてもらって正解にたどりつく。その例が図6の左図である。上から、赤い金属の突起①、それが接触した1辺5mmの銀色の金属のサイコロ②、それに接着した直径3mm、長さ5mmの灰色の円柱③、その下に接着した直径が同じで厚みが2mmの金属のキャップ④、その横に金属のツメ⑤、それらが白いプラスチックのカバーの中で一体になっている。ゆるいバネ⑥を挟んで下に直径3mm、長さ10mmの金属棒⑦がある。これを以後ハンマーと呼ぶ。ハンマーの上から6mmのところを垂直に刺さった直径1mm、長さ4mmの金属のピン⑧。ピンの両端は白いプラスチックのカバーに掘られたL字形の枠⑨にはまっている。ピンの両端は、同時に、ハンマーが納まった内側のプラスチックに空いた刃状の枠⑩にはまっている。ハンマーの下にバネ定数の大きいバネ⑪があり、その下端は内側のプラスチックの底に当たって動かない。金属のツメ⑤の左に黒いプラスチックのテコ⑫がある。これを以後レバーと呼ぶ。その先からガスのノズル⑬が出ている。

つぎに、図6の左図を見ながら、ボタンを押してカチッと音がするまで、部品同士が連動して動くようすを説明して、フローチャートを作る。

「ボタンを押す。⇒①赤い金属の突起、②銀色の金属のサイコロ、それについた③灰色の円柱、④金属のキャップと⑤金属のツメが白いプラスチックのカバーと一体になって下がる。⇒⑤金属のツメが、⑥黒いプラスチックのレバーを押す。⇒⑬バルブが開いてボタンガスが放出される。」
「同時に、⑨L字形の枠と⑩刃状の枠の両方にはまった⑧ピ

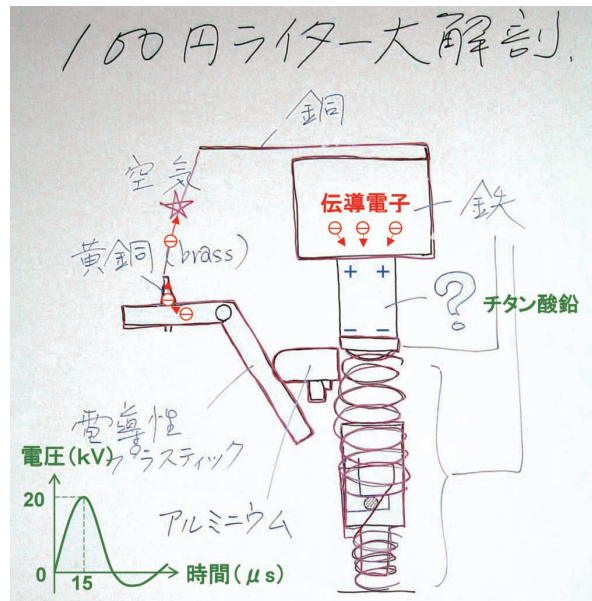
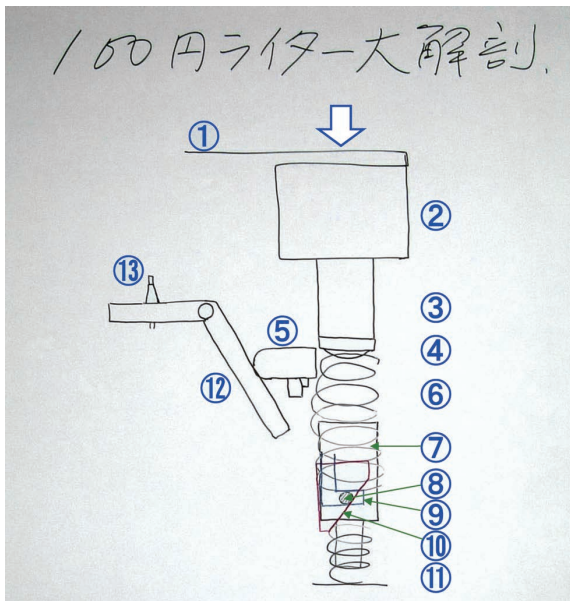


図6. 圧電式100円ライターの解剖図

左：縦断面図。右：導体部。

①リン青銅のピン、②鉄のサイコロ、③圧電性セラミクス、④鉄のキャップ、⑤アルミニウムのツメ、⑥鉄のバネ、⑦鉄のハンマー、⑧鉄のピン、⑨L字形の枠、⑩刃状の枠、⑪鉄のバネ（バネ定数大）、⑫伝導性プラスチックのレバー、⑬黄銅のノズル。

ンが下がり⑦ハンマーも下がる。⇒⑧ピンが⑨L字の左角に向かって移動し⑪バネが縮む。「ボタンをさらに押す。⇒⑧ピンが⑨L字の角に来た時、⑪バネが勢いよく伸びて⑦ハンマーが急上昇する。⇒⑦は③灰色の円柱の下の④キャップを強く打ちカチッと音をする。⇒⑬バルブと①金属の突起の間に放電が起こりガスに着火する。」ここで、②サイコロは③を⑦で打つためのカナトコになっている。縮めた⑪バネの弾性エネルギーを一気に開放して⑦を勢いよく上昇させる仕組みは「トリガー機構」と呼ばれる。

つぎに、どこで電気が発生したかを考える。②サイコロか、それに接着した③灰色の円柱が電池ではないかという意見が出る。そうでないことは砕いてみれば分かる。それまで圧電性については一切言っていないが、イリノイ大生の中にはどれかの部品が圧電材料だと言うものがある。いずれにしても、部品の電気的な性質を調べたい。

テスターを使って電気抵抗を測り、図6の右図のように、導通のある部品を赤ペンでなぞる。そして、部品の材料になっている物質名を当てる。①赤い金属の突起には導通があり弾力があるので、銅が主成分のリン青銅である。②、④、⑥、⑦、⑧、⑪には導通があり磁化したドライバーの先につくので鉄である。③の灰色の円柱には導通がないので電池ではないが、物質名は不明である。⑤には導通があるがドライバーにつかない。しかし金属光沢が鈍く軽いことからアルミニウムである。⑤と⑥は電気的に接触している。⑫は、ほとんどの場合、プラスチックだから導通がないと言う。そこで、「私は君たちの予想ではなく事実を知りたい。」と答える。測定レンジを上げると弱い導通があることが分かって驚く。ポリアセタールまたはナイロンに炭素粉末をまぜたものであり、伝導性プラスチックと呼ぶことにする。それによって放電電流の時定数が大きくなると考えられる。⑬のノズルは磁石につかず金色をしているが、だれも金とは言わない。頭の中に、100円を上限にした不等式を立てて解こうとしているのだ。答えは、黄銅、俗称は真鍮、銅と亜鉛の合金である。中心にガスを通す細い穴が開けてあり、細工がし易いことが分かる。「金管楽器は黄銅（英語名 brass）でできているから、その演奏者の団体を brass band と呼びます。こうやって英語を覚えると忘れません。」と言うと、うなずく学生がいる。ノズル⑬とリン青銅①の間は空気である。空気は絶縁体であるが、放電したときに導体になったことを認めさせる。すると、灰色の円柱③を除いて、導通のある部品がループを作っていることが分かる。どうやら③がライターの心臓部らしいがそれ以上は難しい。そこで、私の話を聞く。

3.5 レクチャー

「物質には、電気を流す流さない、光を通す通さない、硬

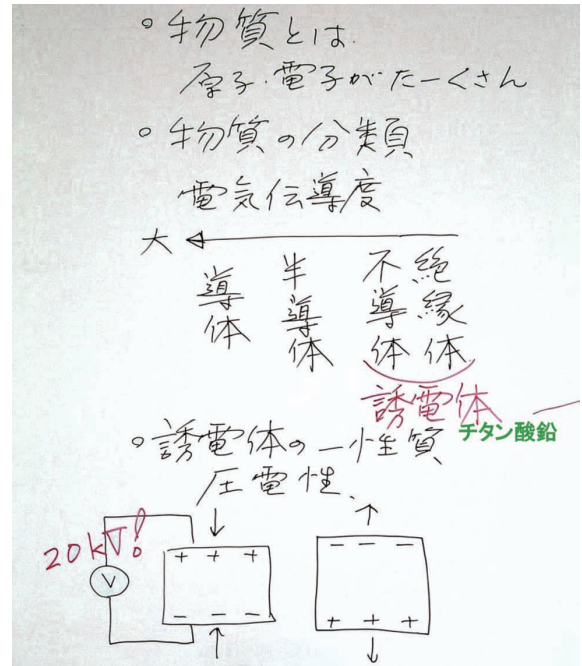


図7. 物質、物性と圧電性の説明

い柔らかい、熱を伝える伝えない、磁石につくつかない、などの性質があり、それらを物性といいます。私たちは、それらの物性を利用することによって豊かな生活を送っています。」図7のように板書しながら、「物質はたくさんの原子と電子からできています。物性は物質のマクロな性質であり、それらはミクロな原子・電子が相互作用しながら集団的に運動することによって現れます。20世紀に入って物理学者が明かにしたことです。それが物性物理学と呼ばれる研究分野であり、その後も、いろんな物性のミクロな物理機構を明らかにして工学に指針を与えています。工学では、それらの物性を機能させるための応用研究を積極的に行って便利なものをたくさん作りました。そのおかげで、私たちは豊かな生活ができるようになりました。その典型がコンピューターです。21世紀以降も、物理と技術が良好な関係を築くことによって、さらに豊かな社会が実現するでしょう。」

「今後も新しい物性をもつ物質の探索は続きます。」「その探索は物性に着目して系統的に行なうと効率が良いのです。」「先ほどは、ライターの部品の物質を電気伝導度で分類しました。」「伝導度の大きい物質群、小さい物質群、全くない物質群はそれぞれ……。そうです、導体、半導体、不導体または絶縁体と言います。」「私たちは、これら3つの物質群を上手に使うことによって、電気回路を作ることができます。1つでも欠けたら回路を作ることはいけません。」「さっきの赤でなぞった部品は全て導体で、その回りと③だけが絶縁体です。」「導体には自由に動く電子がたくさんあり、絶縁体にはありません。」「③の働きは電気を流さないだけでしょうか。」「不導体、絶縁体という言葉は、

電気業界でよく使われますが、何も起こりそうにないですね。物理業界では、それを誘電体と言います。そう呼んだ瞬間に電気が発生して明るい明日が来そうですね。」「③はチタン酸鉛などが混じった誘電体の結晶です。」「誘電体は電気を流さない代わりに、電気をたくさん貯めたり、電氣的エネルギーを力学的エネルギーに変換したりする有用な性質を持っています。」「③は正確には、チタン酸鉛、ジルコン酸鉛と二オプ酸マグネシウムの混晶のセラミックスである。

「ここでは、圧電性という性質が使われています。」「③は硬いですが、圧力をかけるとほんのわずかに縮みます。」「すると、結晶中の原子の配列が変わり、正負の電気の中心がずれて、例えば、結晶の上の面には+電荷、下の面には-電荷が現れます。これは、結晶の上下に電圧が発生したことになります。そのときの電圧は、20 kVでした(図7)。それをショートすると、導線の中の電子が動いて電流が一瞬流れます。逆に結晶を伸ばすと、電荷の極性が逆になります。したがって、伸縮を繰り返すと交流が発生します。ライターの場合、ハンマーで打った瞬間に結晶が縮み、そのあとバネのように伸縮を繰り返しながら減衰します(図6右)。この性質は超音波のマイクロフォンに使われます。」「それでは、結晶に交流電圧をかけたらどうなるでしょうか。そうです、結晶は伸縮します。すると空気の疎密波ができて音になります。それは皆が持っている携帯電話のスピーカーに使われています。」「原子間力顕微鏡では原子を一つ一つ観察するために使われています。」

誘電体③の圧電性と伝導電子の移動を考慮して、着火のフローチャートを完成する。……⑦ハンマーが円柱状の誘電体についた④キャップを打つ。⇒③誘電体が縮み圧電性によって上部に+電気が、下部に-電気が発生する。⇒①リン青銅と②サイコロのなかの伝導電子が誘電体上部の+電気に引きつけられるため、①の先では電子が不足して電位が高くなる。反対に、④、⑤、⑥、⑦、⑧、⑪、⑫の中の伝導電子は下部の-電気から逃げるため、⑬ノズルの先端は電子が過剰になって電位が20 kV下がる。⇒その高電場から電子は強いクーロン力を受けてボタンガスと空気の中を⑬から①へ飛ぶ。⇒ボタン分子 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ と酸素分子 O_2 の結合が切れてつなぎかえがおこり、 H_2O と CO_2 ができる。つまり着火する。このあたりで時間になる。

エネルギー変換の考察はレポートの課題にしている。エネルギーが変換される順序を詳しく書くとつぎのようになるであろう。「指がボタンを押して仕事をする。⇒それは⑩バネの弾性エネルギーとして蓄えられる。⇒トリガー機構によってそれが一気に開放されて⑦ハンマーの運動エネルギーに変わる。⇒その一部が、⑦と③圧電結晶の衝突によって、③などの弾性エネルギーに変わる。残りはカチッ



図8. 部品を分別して捨てるゴミ箱

という音波のエネルギーと熱に変わる。⇒③の弾性エネルギーの一部が圧電性によって電気エネルギーになる。残りは熱に変わる。」「電場から電子が運動エネルギーをもらい、⑬から①へ移動しながらボタンと酸素をプラズマにする。⇒ボタンと酸素から水と二酸化炭素が生じて化学結合エネルギーが減少する。つまり燃焼する。⇒結合エネルギーの減少分が光エネルギーと熱に変わり、ノズルから供給されるボタンが燃焼を続ける。」

「以上です。何か質問がありますか。」「これから、物理学や電気材料に関する講義を受ける機会があったら、興味を持って勉強してほしいと思います。」分解した部品を物質に着目して分別し、ゴミ箱へ捨てる(図8)。プラスチック製のガス容器に詰まった液体ボタンは後で私が抜いて容器を捨てる。工具とテスターを工具箱へ戻す。これまで2名のイリノイ大生が、テスターの切り替えスイッチを最大電圧のレンジに設定してかたづけしてくれた。デジボルが主流の時代に、大学で教わったそうである。このフェイルセーフなやり方を、私は中学校の技術家庭科で習った。

3.6 レポート

学生には2-3ページのレポートを課す。それは体験したことを心に刻んでもらうためである。着火までのフローチャートとエネルギー変換の仕組みが自分の言葉で書かれていることが大切である。毎回楽しみにしているのは、ライターの図、デモの提案と感想である。着火のフローチャートを漫画で生き活きと描いてくる学生がいる。デモの提案で一番多いのは懐中電灯と発電機である。例えば、マイクやスピーカーとして使う提案があってもよい。ライターの圧電素子から音楽が聞こえたら楽しいではないか。圧電性の応用範囲は驚くほど広い[9, 10]。もっと奇抜なアイデアを出してほしい。

つぎに、ある年の感想のキーワードを挙げよう。日米を比較すると面白い。

(1) 本学の新生の感想

- ・感動した 「蛍光灯が点灯して感動した。」
- ・感激した 「着火の仕組みが分かって感激した。」
- ・楽しかった 「ライターの解剖は楽しかった。」
- ・熱中した 「ライターの解剖に熱中した。」
- ・ワクワクした 「ライターを解剖しながらワクワクした。」
- ・驚いた 「100円に科学と技術が詰まっていた驚いた。」
「プラスチックに電気が流れて驚いた。」
- ・勉強になった 「エネルギー変換を知って勉強になった。」
- ・すごい 「100円ライターを発明した人はすごい。」
- ・安い 「これで100円は安い。」
- ・楽しみ 「物理学実験が楽しみだ。」

(2) イリノイ大生の感想

- ・ Interesting 「セミナーの全てが面白かった。」
- ・ Enjoyable 「とても楽しいセミナーだった。」
- ・ Surprising 「何度も驚き、すばらしい体験をした。」
- ・ Enriching 「簡単なデバイスの背後に豊富で重要な物理があった。」
- ・ Excellent 「セミナーは進行がすばらしく、参加者全員に問題解決の興味を持たせた。」
- ・ Successful 「成功だ。参加者の意識が高かったのがその証拠だ。」
- ・ Amazing 「驚くほど安いライターだ。」
- ・ Free 「安いが、パテントをとっているのか。」
- ・ Innovating 「日本人は単に改良するだけではない。革新的だ。」
- ・ Continue 「このセミナーを HIT の新生のために続けるべきだ。」

日米の学生の反応は良く似ている。それは、このセミナーが世界の若者に通用することを示している。同時に、本学の新生の反応とその表現が欧米の若者並みであることを示している。違うのは、本学の新生は「感動した。」と言って思考を止めるのに対して、イリノイ大生は感動した理由を探しているところである。少なくとも大学生活を1年間経験しており、授業評価に慣れているところもある。彼らの感想と誉め方が深いので、教員にやる気がでる。

私が気づいてほしいと密かに思っていることは、「これまでに知られていないことは、どこにも書かれていない。それは私たちが自ら行動して獲得しなければならない。」ことである。レポートでこの点に触れてくれたのは、数名のイリノイ大生であった。本学の新生も彼らのような意見が言えるように成長してほしいと思う。しかし、そのための教育目標をどこに設定するかを考えると、道が険しいことに気づく。何かを分解した経験のある学生の割合は、イリノイ大生のほうが圧倒的に大きい。2006年以降にその傾向が目立つ。「今後はいろんなものを解剖してみたい。」と書

いてくれる本学の新生に期待したい。

4. 今後への課題

4.1 100円ライター大解剖の深化

前章で再現したセミナーの内容は10年余りをかけて落ちてきた。分解や工作をした経験を持つ新生が著しく減り、学生間で助け合うことが少なくなって、ライターの分解に手間取るようになった。そのため、1コマに盛り込む内容を減らさなければならなかった。2コマ/2週でこなすようにした年もあったが、2006年以降は電気系2学科で足並みを揃えるために内容を大幅に減らして1回ですませるようにした。今後、「100円ライター大解剖」を本学の新生セミナーとして再開することがあるとして、それを1コマ90分間で実施しなければならないときは、私が分解するところを学生に見せながら、前章の流れにしたがって説明することになるであろう。それもじきに、私が分解したライターの写真を見せながら話をするだけの時間になるであろう。体験学習としての実をあげるためには、2コマ/1週または2コマ/2週で実施する必要がある。4コマ/2週なら、ファラデーを意識したくなる [11]。これまでに削除してきた内容を復活し、また新たに内容を追加して、「100円ライターの科学」を目指すことができる。それらを具体的に挙げておこう。

- ・ 圧電性のミクロな機構を考察する [12]。
- ・ 圧電性結晶の原子変位と格子変形から生じる分極、電圧と電流を概算する。
- ・ 圧電素子はセラミックスであり多結晶である。単結晶と多結晶の違いと、多結晶に1軸性応力をかけても大きい分極が発生する理由を考察する。
- ・ 液体ブタンを気化させて容器が冷えるようすを観察してその理由を考察する。
- ・ 燃料はブタンであり、メタンでもエタンでもプロパンでもない理由を考察する。
- ・ フリント式の100円ライターは1975年に発売されたが、それを製品化するとき最も苦労したところはどこについて考察する。(答：ガスが漏れない安全なプラスチック製のガス容器を作ったこと。その特許を取得した。)
- ・ 圧電式の100円ライターが1983年に発売された時点で、圧電式の着火装置はすでに製品化されていた [9]。それを100円の製品の中に組み込むときに苦労したところはどこかを考える。(答：圧電性素子の圧電定数を上げてコンパクトにしたこと。)
- ・ 100円ライターの価格を36年間維持することができた理由を考える。(答：低コスト大量生産が最大の理由である。現在はデフレの波を受けており、すべて中国など海外の子会社で生産している。)

- ・100円ライターの新たな用途を考える。圧電式ライターは便利でエコな着火装置である。マッチを擦るよりも経済的であり、家庭の必需品といってもよい。一方、禁煙する人が増えて需要が減少している。
- ・より安全で使いやすいチャイルドレジスタンス機構を発案する。その機構のある100円ライターには、PSCマークが表示される。それが表示されていないと2011年9月27日以降は販売することができない。

4.2 100円ライター大解剖からの接続強化

本セミナーは、専門科目への導入になるだけでなく、基礎物理科目への接続にも役立った。学生がレポートに「物理学実験が楽しみである。」と書いたことがその証拠である。しかし、好奇心や向学心に瞬間的に火がつくだけでは、基礎物理教育の実はあがらない。自然現象の中に立ち入って定量的に調べる体験を積む必要がある。その意味で、体験的な基礎物理教育の本丸は物理学実験である [13]。そこでこそ学生のやる気に火をつけて、それを灯し続けなければならない。物理学実験を魅力的にする努力を続けながら、セミナーに前節のような工夫をして、物理学実験を楽しみにする学生を増やしたい。

基礎物理教育のもう1本の柱は基礎物理学である [13]。基礎物理学の内容を魅力的にするためにも、解剖のしがいがあるネタを探し続けている。例えば、ハードディスクとエレキギターのピックアップコイルや使い捨てカメラのフラッシュなどを物理学の応用として、基礎物理学の教科書「基礎物理 WORKBOOK」で紹介している [14]。

最後に、「100円ライター大解剖」を始めたころの学生はすでに30才になっている。社会の最前線で働いている彼らの心の片隅に、今でも1コマの体験が炭火として残っているかどうかを知りたい。

謝 辞

1999年当時に株式会社東海の研究開発部長をしておられた森皎一郎氏から100円ライターの材料や性能について教えていただいた。この場を借りて感謝します。1990年頃、広島大学理学部が市民に一般公開をしたとき、当時の学生の協力を得て100円ライターを解剖して展示した。本セミナーでは、そのとき圧電素子をX線回折で調べたことも紹介している。彼らの協力に感謝します。

文 献

- [1] 文部科学省, 18歳人口および高等教育機関への入学人数・進学率等の推移, 2005.
http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/shinkou/07021403/005/001.pdf
- [2] 広島工業大学, 昭和61年度 学生便覧, 1984.
- [3] 広島工業大学, 一九九四年度 学生便覧, 1994.
- [4] Harvard University, Freshman Seminar Program.
<http://www.freshmanseminars.college.harvard.edu/>
- [5] 京都大学高等教育研究開発推進機構, 新入生向け少人数セミナー (ポケット・ゼミ) の現状と課題 —平成15年度アンケート調査報告—, 平成16年 (2004年) 3月.
<http://www.z.k.kyoto-u.ac.jp/pdf/link/link0231.pdf>
- [6] 大阪大学, 基礎セミナー, 平成6年 (1994年).
<http://www.unique-runner.com/seminar.htm>
- [7] 広島工業大学, 二〇一〇年度 学生便覧, 2010.
- [8] 広島工業大学, 国際交流センター, イリノイ大学アーバナ・シャンペイン校との交流活動, Major Anatomy of 100 Yen Lighter の紹介.
<http://www.it-hiroshima.ac.jp/international/exchange/illinois/past/2008.html>
<http://www.it-hiroshima.ac.jp/international/exchange/illinois/past/exchange07.html>
- [9] 藤島 啓, ピエゾセラミックス —ハイテク時代の影の立役者—, 裳華房, 1993.
- [10] 宮沢信太郎, 栗村 直, 分極反転デバイスの基礎と応用, オプトロニクス社, 2005.
- [11] マイケル・ファラデー, ロウソクの科学 (竹内敬人訳), 岩波書店, 2010.
- [12] C. Kittel, Introduction to Solid State Physics 6th ed., John Wiley & Sons, New York, 1986, Chap. 13.
- [13] 尾崎 徹, 鈴木 貴, 大政義典, 北野保行, 細川伸也, 接続型教育を目指して 第4報 基礎物理科目から専門科目への接続の調査と改善, 広島工業大学紀要教育編, 第9巻, 2010, pp. 27-36.
http://www.it-hiroshima.ac.jp/institution/library/pdf/library_education09_14.pdf
- [14] 尾崎 徹, 基礎物理 WORKBOOK, 東京教学社, 2007, p. 53 と p. 112.

付録 1. 「100 円ライター大解剖」のプリント [日本語版]

入門ゼミナール (広島工業大学 工学部 電子情報工学科)

担 当： 尾 崎 徹

テーマ： **100 円ライター大解剖** (大=大いに. 解剖=分解・分析して研究すること.)

目 的： 電子式の 100 円ライターを分解・分析して着火の仕組みを明らかにする。
そこで本質的な役割をしている物理現象とエネルギー変換について理解する。

順にチェック していこう。

(1) 大解剖の目的

- 解剖したい気持ちは知的欲求から発するものであろう。子供は分解することで多くのことを学ぶ。しかし、それが人間の自然な営みだからといって無駄な殺生はいけない。プロは目的を持って大いに分解・分析するのだ。解剖することによって人類の英知を獲得する必要がある。
- 目を見開き耳を澄ましてライターのアクションを繰り返し観察しよう。
- 指で押す→・→・→電気発生→・→・→着火 までのフローチャート(流れ図)を想像してみよう。分解・分析をしながら、フローチャートを完成させていけば、着火の仕組みを明らかにすることができるだろう。

(2) 分解・分析と統合

- 40 分後、電気の発生とガスの着火に不可欠な構造の断面図を白板に描いて、指で押して着火するまでの部品同士の連動したアクションを説明してもらいます。
- さあ分解だ。ライターの心臓部を突き止めよう。分解後に復元できなくて良い。
- 部品の物質と役割にも注目しよう。各部品の電気的性質はテスターで、磁氣的性質は磁化したドライバーの先で、密度と力学的性質は指先の感覚で、調べることができる。
- 分解・分析した結果を統合しよう。ライターの簡単で本質的な構造の縦断面図を白板に描き、指で押して着火するまでの部品同士の連動したアクションを説明せよ。

(3) 物理現象の理解

- 心臓部は誘電体の結晶であり圧電性を示す。圧電性のマイクロな機構について話を聞こう。
- 圧電性による電圧の発生と電流の経路をフローチャートに加えて着火の仕組みを完成せよ。
- 完成したフローチャートをたどりながらエネルギー変換について考えよう。

(4) レポート

- 提出期限：明日，10:00. 場所：新 1-1207 号室ドアのメールボックス.
- レポート用紙(A4 版)1-2 枚.
- テーマ，学生番号，氏名.
- 目的 (自分の言葉で).
- (1)着火の仕組みの説明 (電子ライターの構造断面図とフローチャート).
- (2)エネルギー変換の説明 (キーワード：電気エネルギー，力学的エネルギーなど).
- (3)まとめ (考察，電子ライターを使ったデモの提案，調べたことなど，最後に感想).
筋の通った日本語を書き，誤字・脱字がないようにチェックして提出すること.

付録 2. 「100 円ライター大解剖」のプリント [英語版]

Freshman Seminar (Department of Electronics and Computer Engineering, HIT)

Professor: Tōru Ozaki

Theme: **Major Anatomy of 100 Yen Lighter**(major = big and *active*, anatomy = not only taking apart to pieces but also *studying*)

Purpose: To clarify the mechanism of the lighting in an electronic 100 yen lighter.

To understand the energy conversion playing essential roles in the lighting.

Check .

(1) Purpose of the major anatomy

- We take something apart to pieces to satisfy our desire to learn. Children naturally learn much from doing it. However, we should not thoughtlessly take lives. We professionals are required to perform anatomy with a big purpose. We obtain wisdom for human beings from the anatomy.
- Repeat the lighting and observe it with your five senses before starting the anatomy.
- Imagine a flowchart, Push a button $\rightarrow \bullet \rightarrow \bullet \rightarrow$ Generating electricity $\rightarrow \bullet \rightarrow \bullet \rightarrow$ Lighting. You will be able to achieve your purpose by completing the flowchart.

(2) Analysis and integration in the anatomy

- After 40 minutes, professor will ask you to illustrate a simple but essential cross section of the lighter on the whiteboard and to explain the linked action between the parts of the lighter.
- Start the anatomy. Use pliers, nippers, screwdrivers and cutters on pasteboard. It is not necessary to restore the decomposed lighter. *Find out the heart of the lighter!*
- Guess the matter of each part. You can obtain its electric properties by a tester, magnetic properties by a magnetized screwdriver, density and mechanical properties by your fingers.
- Integrate the results of the anatomy. Illustrate a simple but essential cross section of the lighter on the whiteboard. Explain the linked action between the parts after pushing the button.

(3) Understanding of physical phenomena

- The heart of the lighter is a dielectric crystal showing piezoelectricity. Professor will teach you its microscopic mechanism.
- Complete the flowchart by adding the generation of the electric current.
- Consider the energy conversion in the flowchart of the lighting process.

(4) Report

- Submission: Tomorrow morning. Mailbox on the door of the room N1-1207.
- One or two pages. Handwriting is permitted.
- Theme
- Name
- Purpose (in your words).
- (1) Explanation of the lighting mechanism (with simple figures and the flowchart)
- (2) Explanation of the energy conversion (Keywords; mechanical energy, electric energy etc.).
- (3) Summary (discussion; proposals of the demonstration using 100 yen lighters; impression, opinions and comments on this seminar).