

公開講座『身近な熱と流れの実験からエネルギーを考える』の実施報告

羽 田 喜 昭*

A Report of Extension Lecture ; Familiar Experiments on the Energy

Yoshiaki HANEDA

キーワード：ゼーベック効果，エネルギー，熱，電池

1. ま え が き

理工系離れという言葉が聞かれる昨今，青少年に科学の面白さを伝えようとするテレビ番組やイベントが数多く企画され，また手軽にできる科学実験に関する書籍⁽¹⁾も数多く出版されている。

ところで，近年地球環境問題の一つである地球温暖化が問題になっている。この問題を引き起こす主原因は人間活動による二酸化炭素，メタンやフロンといった温室効果ガスの排出量の増加に起因する。特にエネルギー消費量の増加とそれに伴う二酸化炭素排出量の増加は，温室効果をもたらすもっとも大きな要因となっている⁽²⁾。

このような社会情勢を踏まえ，次のことを目的として公開講座を実施した。(1) 科学の面白さを小学生に伝えること。(2) エネルギーという言葉に興味を持ってもらうと同時に地球を汚さないという意識を小学生に芽生えさせること。(3) 身近なものをを用いた夏休みの自由研究の一例として参考になるような実験であること。

以下実施した内容とその関連事項について報告する。

2. 実施日および受講者数

平成12年7月31日(月)

午前9時30分～午後4時30分

受講対象者：小学校5，6年生

受講希望者：10名(欠席1名)(募集人員10名)

受講生のうち5年生が4名(男子3名，女子1名)，6年生が5名(男子5名)であった。

3. 講座での実験内容の選定

小学校5，6年生が退屈せずに，1日講座を受講できるようにするために次の点を考慮し実験内容を選定した。

- (1) 小学生が興味を持ちそうな身近なものをを用いた実験であり，実験内容が平易であること。
- (2) ひとつの実験は，あまり長時間にならないようにすること。
- (3) エネルギーに関係した実験であり，実験内容に不思議さと面白みがあること。

小学生にとってエネルギーという言葉からくるイメージとしてもっとも身近なものは電気であると考えられる。そのため，最終的なエネルギー形態としては，電気エネルギーへの変換を実験内容に選定した。また，地球環境問題に関係のある二酸化炭素を発生させないで発電が可能な今後のエネルギー⁽²⁾として期待される温度差発電，各種電池や風力発電を受講生にイメージしてもらうために，本年度は，熱エネルギーと化学的エネルギーを主として利用することにした。

熱エネルギーから電気エネルギーへの変換実験としては，ゼーベック効果^(脚注)に関係する実験内容にした。ゼーベック効果を確認するには，一般の家庭では持ち合わせていない電圧計を使用する必要がある。身近なものをを用いた実験という点からは課題が残る。しかし，ゼーベック効果を確認する実験は簡単であり，小学生が不思議に思ってくれば，この実験の目的のほとんどは達成できると思われる。ま

脚注) ドイツの物理学者 Seebeck (1770～1831) が発見した熱電現象である。2種類の金属導線を用いて閉回路を作り，二つの接点間に温度差を与えると，両接点間に起電力が生じ回路に電流が流れる現象である。

*機械工学科助教授

原稿受付 2000年9月29日

た、化学エネルギーから電気エネルギーへの変換に関しては身近なものを利用して簡単な電池を作り、その電池を用いた実験を行った。

4. 実験内容とその結果

講座において実施した実験内容とその際に得られた実験結果について報告する。

4-1 鉛筆電池の製作とその実験結果

時間 午前 9 時30分～10時15分

4-1-1 ミニ鉛筆電池の製作とその電圧測定

本講座に興味を持つかどうかは、最初が重要であり「講座は面白そうだ」とまず受講生が感じてくれればと思い、細かい説明をせずに、「みなさんにこれから鉛筆を用いて電池を作ってもらいます。」と言って受講生に、長さ約30～40mmの鉛筆（HB）の芯を1本、1辺約40mmのキッチンペーパーとアルミホイルを各1枚ずつ配った。図1の示すように鉛筆のまわりにキッチンペーパーを巻き、アルミホイルと鉛筆が接触しないようにペーパーのまわりにアルミホイルを受講生に巻いてもらった。この電池はよく知られている備長炭電池と原理は同じであるが、鉛筆にも炭と同じ成分が含まれていることを知ってもらうとともに「鉛筆で電池ができるのか」と疑いの念を受講生に持ってもらうねらいもあり、あえて鉛筆を用いた。鉛筆電池については、あまり知られていないと思われるが、予備実験をし本講座で実施したものである。鉛筆電池という名称はオリジナルと思われる。

公開講座用の説明資料には、備長炭電池あるいは消臭剤を用いた電池の作り方についても記述した。備長炭電池の説明では、飽和食塩水に浸した紙を炭に巻きそのまわりにアルミホイルを巻くと一般的には記述されている⁽¹⁾。しかし、本講座では各自で作った電池の電圧をできるだけ同じ条件で測定するため、乾いた紙を鉛筆に巻き電圧を測定する直前に飽和食塩水に浸すという方法にした。紙とアルミホイ

ルで巻かれた鉛筆を飽和食塩水に浸し約15秒経過した後、各自の電池の電圧を一人ずつ測定し、その値を黒板に書かれた表に一人ずつ記入してもらった。

小学生にとって電圧の説明は、難しいためまず乾電池を用意し、乾電池の電圧を筆者らが測定しその数字を目安にして、各自の鉛筆電池の電圧値が乾電池の電圧値と比べてどの位になっているか直感で判断してもらった。各自の鉛筆電池の電圧値の相違を明確にするため、電圧は少数第2位まで読み取ることにした。表1は受講生9人が作った鉛筆電池の電圧値である。各自の電圧値にばらつきはでるが、約0.7V位になることを予想していたので、1V前後の電圧値が得られたことは予想外であり驚きでもあった。受講生自身の鉛筆電池の電圧が、他の人の電池の電圧と比べ高いかあるいは低いかということも、意外と受講生には面白かったようである。講座中はこの電池をミニ鉛筆電池と称した。

表1 鉛筆電池の電圧

受講生	電 圧 (V)	受講生	電 圧 (V)
1	0.59	6	1.05
2	0.75	7	0.69
3	0.64	8	0.65
4	0.68	9	0.96
5	0.60	平均	0.73

4-1-2 長鉛筆電池を用いた LED の点灯実験

次に、長さ60mmほどの鉛筆の芯を4本用意し、図1と同じ方法で鉛筆電池を筆者らが作った。ただし、飽和食塩水の代わりに塩素系の漂白剤を紙に直接浸す点が、受講生の作った電池と異なる。漂白剤の使用は危険なため、筆者らの実演のみにとどめた。この電池を4本作りそれぞれの電圧を測定した。講座中は長鉛筆電池と呼称した。表2に4本の長鉛筆電池の電圧値を示す。飽和食塩水を用いた電池（表1）の平均電圧に比べ、2倍以上の電圧が得られている。

表2 長鉛筆電池の電圧

Na 1	Na 2	Na 3	Na 4
1.6V	1.6V	1.7V	1.7V

この電池を図2に示すように4本直列に接続したところ約5Vの電圧が得られた。乾電池を直列に接続する場合の全体の電圧は、それぞれの電池の電圧値のほぼ和になる。このことを乾電池を使って実測し確認した。しかし、鉛筆電池では乾電池のようにそれぞれの電池の電圧値の和にならないことを受講生に説明した。講座終了時のアンケートに「小さな

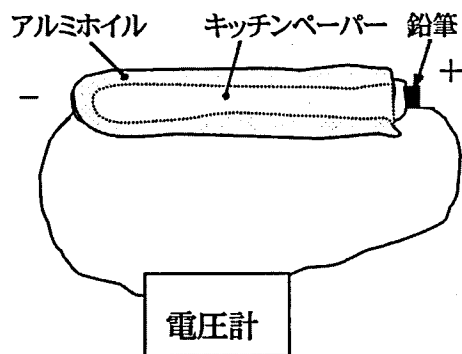


図1 鉛筆電池

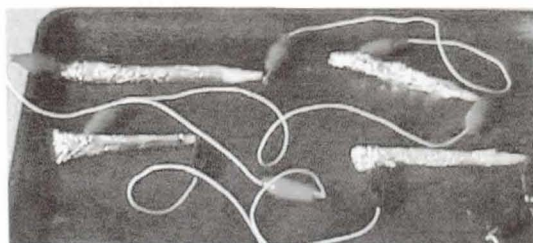


図2 4本つないだ鉛筆電池

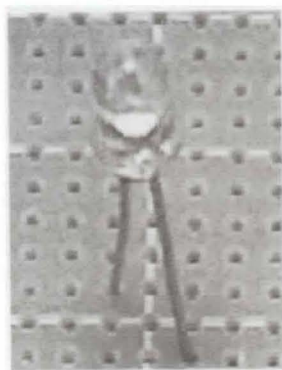


図3 手作り電池で点灯したLED

力でも合わせると大きな力になる』と答えていた受講生がおり、鉛筆電池を4本接続することと乾電池を何本か接続することとは、原理的には同じだということも理解したようである。この4本の鉛筆電池を用いて図3の青色発光ダイオード(LED)を点灯させた。まず直流電源装置を用いてLEDを点灯させ、次に長鉛筆電池を用いてLEDを点灯させた。長鉛筆電池によるLEDの点灯実験では、その明るさは直流電源装置を使用した場合に比べ明るくはない。長鉛筆電池をつないでLEDが発光し、受講生のひとりが『あっ ついた!』と思わず言ったが、この言葉で本実験のねらいは十分達成されたと思われる。

4-1-3 11円電池の電圧測定

次に、図4に示すような11円電池を作り、11円、22円、33円と積み重ねてそのときの電圧を測定した。銅とアルミニウムを用いた電池の製作と原理的に同じであるが、お金を使うところに面白みがあると思われる。11円で約0.6Vの電圧が得られた。予備実験では20段ほど積み重ね約1.5Vの電圧が得られた。当日は55円(5段)ほど積み重ねても0.7Vほどにしかならずそれ以上積み重ねることはしなかった。電圧が予想していたほど高くなかった原因は、予備実験に用いた10円を使用したため硬貨の表面が錆てしまい、化学反応がしにくい状態になっていたためである。11円電池を積み重ねLEDを点灯させることはできなかった。「11円電池8段でLEDが

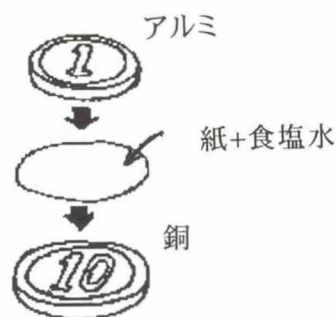


図4 11円電池

点灯する」とか「ある高校では最高36Vの電圧を得た」といったインターネット情報もあるが、硬貨を積み重ねていくうちに時間が経過し化学変化が弱まるため、電圧値が高くないのが実状であり、実験方法に工夫が必要と思われた。

4-2 熱電気変換実験

4-2-1 サーモカップル素子を用いた実験

午前10時30分～午後1時30分(1時間昼休み)



図5 熱電気変換実験の概要

図5に示す熱電気変換実験器(Nakamura製)を用いた実験を行なった。この実験器を用いて左右ビーカーの温度差と実験器の起電圧の関係またプロペラの回転する速さを測定した。この実験器には、サーモカップル素子を使用され、素子間にある値以上の温度差が生じると起電力が生じプロペラが回転する機構になっている点がこの装置の面白い点である。熱エネルギーから電気エネルギーを生成する実験としては非常に興味深いものであり、簡単な温度差発電実験である。サーモカップル素子の詳細な説明はせず、この装置の原理のみの説明にとどめた。温度によって色が変化する感温液晶シートをサーモカップル素子付近の装置前面側に貼り、その付近での温度差を視覚で理解可能なように工夫した。このシートは、シート温度が約30℃になると赤色になり、約40℃以上では青色になる。図6には感温液晶シー



図6 感温液晶シート部拡大図

ト部の拡大図を示す。向かって左右それぞれのビーカーに氷水と湯を入れた場合には、感温液晶シートの左上側が黒色になり、下側が青色に変色するので、正確な温度差は不明でも直感的に温度の相違は認識可能である。幅20mm長さ70mm程度の感温液晶シートを受講生全員に配り、このシートを使った別の実験（熱の伝わり方）についても紹介した。氷水や湯の中にシートを入れシートの色が変色するのを休み時間に受講生の何人かは楽しんでいて、受講生の一人が『温度表示付き定規を持っている』と言って見せてくれた。この温度計は、温度を緑色の数字で示すようになっていた。『この温度計にもこういうシートが使われているのか』とつぶやいていた。

公開講座当日に行った実験の左右ビーカーの水温と電圧値およびプロペラが1回転するのに要したビデオのコマ数を表3に示す。プロペラの回転数を家庭で正確に測定することはできない。ここでは回転するプロペラをビデオカメラで撮影し、その映像をテレビに映し受講生全員で確認しながら、プロペラが1回転するのに何回コマ送りする必要があるか数えることにした。プロペラの羽根1枚に白い印をつけ、白い印がテレビの画面上のほぼ同じ位置にくるまでコマ送りした。プロペラが正確に1回転するコマ数を調べることは不可能なため、あくまで大まかな数である。このコマ数から1回転するのに要する時間を算出した。受講生に単位時間あたりの回転数という意味を理解させることはやや難しかったため、プロペラが100回転するのに要する時間はどの位になるかを計算することにした。この計算だとプロペラが100回転するのに要する時間が、ほとんど整数になるため5年生にも理解しやすいと思われる。

ビデオカメラは1秒間に30枚映像を取り込むので、1枚取り込むには、 $1 \div 30 \approx 0.033$ で1コマ分は約0.03秒と説明したが、これも受講生にとってやや難しいようであった。そこで、『むずかしいことは抜きにして、1コマ分は0.03秒としてください』と話し納得してもらった。

次のように黒板に記述した。表3のNo.1の場合4コマだと $0.03 \text{秒} \times 4 = 0.12 \text{秒}$
1回転するのに0.12秒だから100回転するには

表3 熱電気変換実験器の特性

No.	左側 ビーカー 水温 (イ) °C	右側 ビーカー 水温 (ロ) °C	温度差 (ロ)-(イ)	電 圧 (V)	プロペラ が1回転 するのに 要するビ デオのコ マ数
1	33	80	47	0.63	4 回
2	5	73	68	0.72	3.5 回
3	5	56	51	0.48	6 回
4	4	48	44	0.37	9 回
5	5	42	37	0.28	17 回
6	5	37	32	0.2	作動せず

$0.12 \text{秒} \times 100 = 12 \text{秒}$

横軸に左右ビーカーの温度差をとり、縦軸に実験器の電圧あるいはプロペラが100回転するのに要する時間を取り、グラフを各自手書きで作成した。コンピューターで図を作成することも考えたが、座標軸の取り方や実験点のプロットした位置の確認をすることも受講生には重要なことと思い、手書きで図は作成することにした。コンピューターに頼りすぎると、図の体裁だけ整えるようになり実験結果の本質より別のところに興味に移る恐れがあると思われる。当日の実験結果をもとに作成した左右ビーカーの温度差と実験器の電圧との関係およびプロペラが100回転する時間との関係を図7および図8にそれぞれ示す。図7中の黒丸は、メーカーが示した電圧と温度差の関係である。本実験での表3のNo.1の結果は、メーカーの提供した結果と比べると大きな差異はないが、本実験で得た他の実験値から考えられる電圧特性とは大きくその傾向が異なるため、No.1の結果は無視し、他の5点の実験値を直線で結んだ。No.1以外の左側ビーカーには氷水が入っておりほとんどが4°CであるがNo.1の場合にはその温度が33°Cであり、低温度側の温度の違いが電圧特性に大きな差異をもたらしている可能性がある。また、実験日の室温は、36°C以上であり、メーカーの行なった実

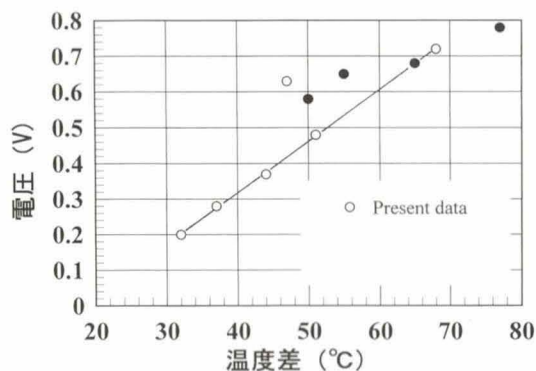


図7 温度差と電圧の関係

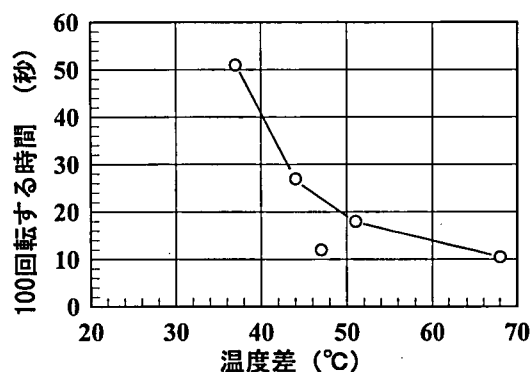


図8 温度差とプロペラが100回転する時間の関係

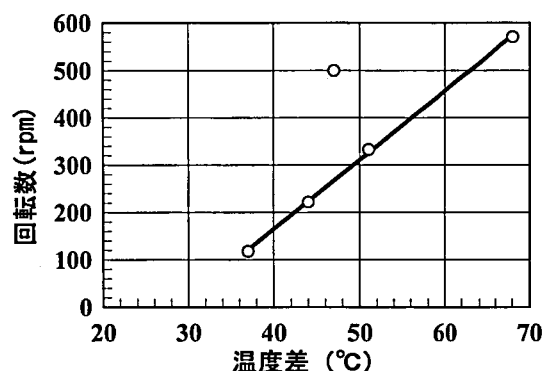


図9 温度差とプロペラの回転数の関係

験における室温22°Cとは大きく異なる。こうした室温の違いもサーモカップル素子の起電圧の違いになっていると考えられる。

ビーカーの温度差が大きくなるにつれて電圧もほぼ直線的に増加することを説明した。ただし、比例という用語は使用しなかった。

図8の場合も表3のNa1の結果から求めた値を無視すると、左右ビーカーの温度差が大きいほどプロペラが100回転するのに要する時間は短くなる。すなわち温度差が大きくなるとプロペラが速く回るようになることを説明した。しかし、図8ではグラフが直線的にならないため、図7と対応させて説明すると受講生にはかえって混乱を与えてしまう気がしたため、詳しい説明はしなかった。

ところで、当日は説明していないが左右ビーカーの温度差とプロペラの1分間当りの回転数の関係を図9に示す。表3のNa1の結果から求めた値を無視すると、それらの温度差とプロペラの回転数には、良好な直線性が認められる。ビデオカメラを使用した実験でもかなり精度のよい測定が可能と思われる。

4-2-2 2種類の金属線を用いた実験

午後1時30分～2時15分

ここでの実験は、熱電対の起電力の実験と同じである。前節で行なった熱電気変換実験と関連があるため本実験を行なった。熱電対には、銅・コンスタ

ンタン線やクロメル・アルメル線などを用いるが、一般にはなじみがないため実験では針金（鉄線）とニクロム線を用いた。針金はよく目にするため特に説明は不要であった。また、ニクロム線については、半田ごてやホットプレートなどのヒーターの中に使用されていると説明した。そのあと、ニクロム線に数Vの電圧をかけ、その熱で紙を切ることにした。赤くなったニクロム線と煙を出しながら紙が切れるのを見てニクロム線とはどういうものかわかったようである。

鉄とニクロム線の2本の先端をまとめてよじり、その先端部をビーカー中の水につけ、もう一方の線の端は、電圧計の端子にそれぞれ接続した。その先端部が入っている水温とそのときの電圧計の値を読み取ることにした。起電圧がmVのため、単位の説明を一応したが、ここでは数字の変化に注目してもらうことにした。

公開講座用の説明資料中の表に数字を記入し表4のようにまとめた。次に表4のNa1～Na5の関係を各自でグラフにした。鉄・ニクロム線の先端部を入れた水温と起電圧との関係を図10に示す。直線性は非常によく温度が上昇すれば電圧も高くなることがわかる。しかし、負の電圧値を小学生に説明することは難しいため、水温が4°Cのときの電圧値が負になってしまったことは反省点である。最初に氷水における起電圧を0Vになるように電圧計の値を調整

表4 鉄線とニクロム線の起電圧表

Na	ビーカーの水温 (°C)	電圧計の値 (mV)
1	60	0.35
2	57	0.25
3	49	0.15
4	40	0.05
5	4	-0.42
6	ライターの火	1.4

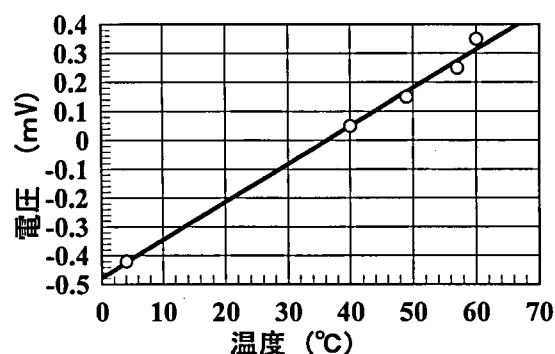


図10 ビーカーの水温と起電圧の関係

しておけば、すべて電圧値は正になり水温と電圧との関係はもっと説明し易くなったものと考えられる。

4-3 モーターを用いた発電実験

午後2時15分～2時45分

直流電源装置を用いてまずモーターを回転させる。次にモーターに接続された導線を電圧計に接続し、手でモーターを回転させた。そのときの電圧計の数字の変化を見てもらった。モーターを手で回転させると電圧値が大きくなることを理解してもらった。発電は、この原理をもっと大掛りで行なうものであり、発電機を回転させる力としては、水力や風力あるいは人力でもよいことを説明した。自転車のライトは人力の発電によって点灯していることを理解したようである。水による大きな力はどうすれば得られるか、水力発電所にあるパイプはなぜ高いところにあるかなどを説明した。

水力や風力に関する手ごろな実験装置については、今後の課題である。

4-4 レモン電池の製作

午後2時45分～4時

材料

レモン半分、くだもの電池用モーター（Nakamura 製 H-158, 0.4～1.5V, 22～40mA）、プロペラ、モーター取り付け台、リード線：2本、みの虫クリップ：2個、12mm×50mm×0.5mmの亜鉛板、銅板、アルミニウム板、鉄板：各1枚、ねじ M2.6×5：2本。

受講生のうち希望者には、はんだ付けを体験してもらった。やけどをしないように注意し、リード線のモーターへの取り付け部分とみの虫クリップをリード線に取り付ける部分のはんだ付けを行なった。みの虫クリップのゴムの部分を取り外した状態を初めて見た人がほとんどであり、自分の手で作ることには楽しそうであった。モーター取り付け台にモーターをねじ止めし、プロペラを装着すれば完成である。4枚の金属板のうち亜鉛板と銅板をレモンに挿入しプロペラが回転するか検討した。しかし、受講生全員のプロペラは回転しなかった。銅板を熱して酸化させたものを使用したり、レモンにオキシドールをたらしてもプロペラは回転しなかった。レモン電池の電圧は、0.7Vほどでありこの値はモーターの規格を満足している。そのため、プロペラが回転しない原因は、電流値が小さ過ぎたためと考えられる。

図11は、後日行なった実験で、レモンに亜鉛板と銅板を挿入ただけで実際にプロペラが回転した場合の様子である。プロペラは、1個のレモンで20秒～1分ほどしか回転しないことがわかった。亜鉛板

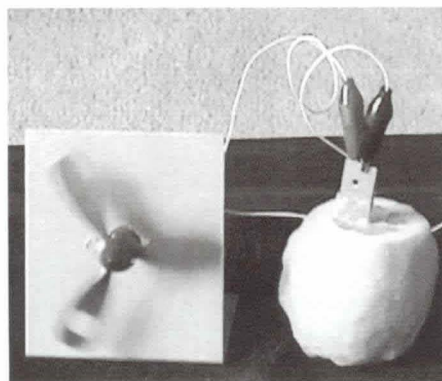


図11 レモン電池でプロペラが回る様子

と銅板を別の2種類の金属に変え、亜鉛板と銅板が挿入されていた位置とは別の位置に2種類の金属板を挿入してもほとんど回転しないこともわかった。レモン電池に関する詳細な説明は、ほとんどないため、レモンに2種類の金属板を挿入すれば、簡単に電池ができるように思っていた。しかし、レモン電池を用いてモーターに装着したプロペラを回転させるには、ちょっとした工夫が必要であることがわかった。筆者らが工夫した内容は以下の3点である。(1)電流値を大きくするためには、金属板とレモン果汁との接触面積を増大させる必要がある。そのためには、1個のレモンの先端部を切り、金属板を深くレモンに挿入できるようにすること。(2)2種類の金属板の距離をできるだけ小さくするため、金属の間に紙を入れ、それらが接触しないようにするとともに、それらの金属の全体を包むように紙を巻き、紙を巻いた金属をレモンに挿入する。こうすることで、金属板のレモンに挿入されていない部分でも、紙がレモン果汁に浸されているため化学反応を生じさせる金属の表面積を大きくすることが可能になる。(3)金属板をレモンに挿入したときにもっとも大きな起電力が得られるので、2種類の金属板をレモンに挿入した後にその金属板とモーターを接続させるのではなく、金属板とモーターをあらかじめ接続しておき、いつでも電流が流れる状態にしてからレモンに金属板を挿入する。

予備実験では、レモン半分で作ったレモン電池を用いてもプロペラは回転したが、当日は受講生が楽しみにしていたレモン電池の実験は、成功しなかった。レモン電池の代わりに、漂白剤中に2種類の金属板を入れ、全員のプロペラを回転させた。漂白剤を用いると銅板と亜鉛板、銅板とアルミニウム板、銅板と鉄板のいずれの場合でもプロペラは回転した。

受講生のアンケート中の面白かったこととつまらなかったことの両方にくだもの電池があった。レモ

ン電池を用いてプロペラは回転しなかったが、レモン電池を作ったことあるいは別の方法でプロペラが回転したことに興味を持ってくれたようである。

4-5 講座のまとめと終了式

午後4時～4時30分

二酸化炭素と地球温暖化の関係やクリーンエネルギーについてOHPを用いて平易に説明した。二酸化炭素を排出しないで電気を作る方法（温度差発電、風力発電、水力発電、電池、太陽光発電、地熱発電など）についても講座で行なった実験を参考にして簡単に説明した。

5. あとがき

実験では、予想外の結果がいくつかあり必ずしもすべてが成功したわけではない。しかし、さまざまな方法で電池が作れたことに対してはほとんどの受講生が楽しかったようである。また講座の進み方は全員がちょうどよいと回答した。

本講座で難しいと思った内容のひとつに4-5節での説明をあげた人が二人いた。また、グラフの書き方が難しいあるいはつまらないと答えた人が二人いた。

科学の面白みを伝えるという目的の一つは、ある程度達成できたと思われる。また、アンケート中に「これからの地球はどうなるのか」「二酸化炭素を減らす」と書いた人もおり環境問題に対し、受講生が若干関心を示してくれたと思われる。

最後に、実験の準備および講座に協力していただいた本校機械工学科5年の石田徹吾君、島川聡君、高橋元君ならびに瀧本勲君に心より感謝します。

参考文献

- (1) 左巻健男：「理科おもしろ実験・ものづくり完全マニュアル」，東京書籍
- (2) 柏木孝夫：「エネルギー活用辞典」pp.28-87，(株)産業調査会事典出版センター