

Al缶を用いた抵抗体の製作とその物理的性質の測定

— 長野高専における低学年の物理・化学のカリキュラム改革例 —

西原恵子* 宮坂忠昭**

The Making of Electric Resistances out of Aluminum Cans and the Measurement of their Physical Property

Subtitle: An Example of Curriculum Reform in the Teaching of Physics and Chemistry at Lower Grade Classes of Nagano National College of Technology.

NISHIHARA keiko and MIYASAKA Tadaaki

In this paper we are going to report on our attempt to develop a new curriculum in the subject of General Science taught at Nagano National College of Technology.

Until the academic year 13, physics and chemistry were two different subjects and taught separately. But in the academic year 14, we have integrated these two subjects with a new scientific outlook in mind and started a new subject, "Exercises and Experiments in Science."

Our attempt is based on two ideas. One is that the exercises and experiments should be concrete ones and students should be encouraged to produce hand-made things out of familiar materials. Another is that students should be encouraged to aim at the concrete goal and make their efforts towards it and evaluate their work actively. In our attempt, students made electric resistances out of aluminum cans and measured their physical property. Students went so far as to make direct current motors. Our attempt put emphasis on exercises and experiments. Students took part in our attempt eagerly and they felt satisfied in their self-evaluation.

キーワード: 物理教育, 物理実験, カリキュラム, モノづくり, 抵抗体, モーター

1. はじめに

平成14年度に長野工業高等専門学校(以下長野高専)一般科理科において新たな試み¹⁾として、カリキュラムを立案して、実施した。主たる目的は、物理・化学の領域を取り払って、双方を融合することで統一的科学の視点にたった、自然観の確立である。具体的には、できるだけ簡単でかつ全員がモノづくり²⁾を含んだ実験を行い、2時間(100分)でレポートも含めて、完結させる内容である。本論文は、物理領域に関して、3回(300分)の実施例の報告である。

近年、小中学校において“ゆとり”・“社会との連携”

等教育の量・質の変化が激しい。その結果、理科教育において時間数の削減などにより、幼少時からの具体的な体験が少ないことに加えさまざまな実験を学習することなく、高専に入学する学生が多くなっているように見受ける。たとえば、磁石と砂鉄を使った遊び、コイルを作って電流を流し、磁界の観察、簡単な電池の製作、水の電気分解、メッキの実験等を家庭および学校で経験しない生徒が多くなっているようである。我国では、工業立国の担い手である若者の「理科離れ」が、社会的・教育的な問題として取り上げられている。³⁾したがって、科学・技術を専攻する場合、欠かせない基本的な体験を通じて、自然現象に潜む統一的な考え方の育成が求められる。そのためには、既存の物理と化学の境界を取り除き、複数のテーマを複数の指

* 技術室技官

** 基礎専門 応用物理教授

原稿受付 2003年5月20日

導者から学習することで、学生は多角的かつ統一的な見方が可能になる。具体的目標を明確に定め、これを完遂することにより、モノづくりの喜びとともに理科学習の興味が得られるように工夫した。

2. 目的：抵抗体の製作および測定

直流モータの製作

身近にある Al 缶を材料にして、モノづくりの原点である道具の使い方を工夫しながら工作する。各自が丁寧さと根気深さをどれだけ発揮できるかに挑戦して、細い帯状の抵抗体を 3~4m 切り出す。その抵抗値を理論的に推定する。これを厚紙（牛乳パック箱）の円筒に巻き、コイルを製作する。そして、電流を流して、ジュール熱の発生と磁界の発生を確認して、オームの法則から抵抗値を算出する。理論値と実験値とを比較し、検討する。この抵抗体は、モータの回転子として発展的利用する。牛乳パックからモータの架台を作成し、外部磁界を利用して、直流モータの完成を目指す。モノづくりの楽しさと回転した時の感激とを共有する。

3. 理論

抵抗は長さに比例、断面積に反比例する。 $R = \rho \times l/S$ 、オームの法則、電流は電圧に比例して抵抗に反比例する $I = V/R$ 、磁界は巻き数と電流に比例する。 $H = n \times I$ 、 $n = \text{回}/m$

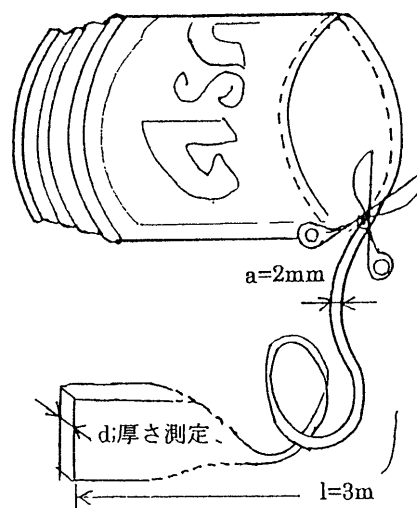
4. 材料と製作用具

Al 缶 (350cc) 1 個、牛乳パック (1 L) 1 個、ハサミ (Al の薄板を切る)、カッター (牛乳パックを切る)、マイクロメータ (厚さ測定)、物差し (150mm)、スケール (5 m)、直流電流 (30V, 3A)

5. 工 作 法

5-1 抵抗体

Al 缶の底部から 15mm 位を切り取り破棄する。厚さが一樣になる中央部にハサミを入れて 5 mm の幅で 1 周 (204mm) 切り出し、その後は 2.0~3.0mm の幅で 15~20 周、丁寧に切り出す。はさみの使い方を工夫して、できるだけきれいに正確な幅になるよう指導する。この工作はかなりの根気が必要であり、ハサミの使い方がよくないと、放り出す学生がある。したがって、適切なアドバイスと激励が必要である。途中で切り出し部を切断してしまう場合も多く、再接続



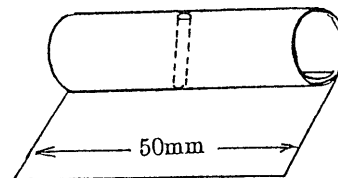
巻き始め、終わり幅 5.0mm で長さ 50mm

図 1 Al 缶からの切り出し

の技術も確立しあらかじめ指導しておく。図 1。これで長さが 3~4 m の抵抗体ができあがる。長さを確認して、最後の 1 周は 5 mm の幅で終わりとする。切り始めと終わりの 5 mm 幅部分の 50mm はそのままとして、残り 150mm は切り取って、保管する。

5-2 コイルの製作

牛乳パックから 50×90mm を切り取り、長さ 50mm、直径 10mm の円筒 (ボビン) を作り、セロテープで形を整える。



中心 (25mm) に 1 mm の穴をあけておき、その両側に均一にかつショートしないように巻きつけていく。巻き始めは中心からとし、ボビンの終わりから戻る際は、絶縁用紙をセロテープで巻き、その上に巻く。これを、3~4 回往復する。巻き数は、左右できるだけ等しくして、回数を記録する。巻き始め、終わりは中心の穴に向き合うようにしてボビンから 20mm、図 2 のように残す。

6. 実験

6 - 1 抵抗体の実験方法

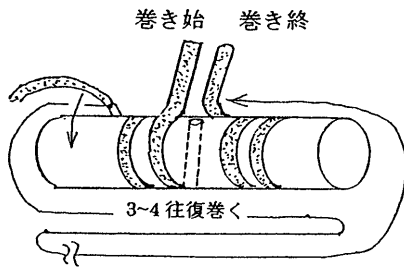


図2 抵抗体の製作

6-1-1 理論的抵抗値の測定

マイクロメータは0点補正值を記録して抵抗体の厚さ d を5回測定する。有効数字を留意して3桁まで求める。幅 a は5箇所測定して平均値3桁を記録する。長さ L はあらかじめ記録した値を用いる。Alの比抵抗率 ρ は、 $2.75 \times 10^{-8} \Omega \text{m}$ とする。 $S = a \cdot d$ とすると $R = \rho \times L / S$ より求める。

6-1-2 実験からの抵抗値

直流電源装置にワニグチクリップで抵抗体を接続して、電流を0.5Aずつ上昇させて流し、その電圧を読み取る。このとき電流保護回路は3Aに調整しておく。また電圧は小さい変化であるから、視差に注意してできるだけ正確に読む。オームの法則で抵抗値を求める。理論的に求めた値と比較して考察をする。

6-1-3 ジュール熱の発生

6-1-2の実験中、コイルに触ってみて、発熱を確認する。その理由を考察する。また発熱量の仕事率(W)の計算を行う。

6-1-4 磁界の発生と強さの測定

磁極の判明している磁石をコイルに近づけて生じる力を観察し、発生している磁界を確認して、コイルへの電流の方向と磁極を確かめ、マークと極性をコイルに記入する。さらに磁界の強さ H を計算で求める。 $H = n \times I$ (n はコイル長1m当たりの巻き数)を用いて、電流は2Aとする。

6-2 モータの製作と実験

6-2-1 目的

製作した抵抗体を回転子として利用し、磁界中で回転させ直流モータの原理を学ぶ。身近な廃物から、モノづくりをすることで、各自が根気と丁寧さを自己発見し、自然界にある原理に触れ、作品から成功の喜びと楽しみを知る。

6-2-2 用具と材料

牛乳パック (1L), Al 缶 (350cc), エナメル線または糸, 外部磁界 (磁石), 直流電源 (30V, 3A), ワニグチクリップ。

6-2-3 整流子の工作

楊枝に図3のように牛乳パックからの切り出し紙を1回転巻きつけ太くする。

抵抗体の5mm幅の巻き始めと終わりの部分を5mm残して表面をヤスリがけする。断面は一様な円になるようにする。太くした楊枝の上を覆うように、丸みをつけた整流子をエナメル線または糸で固定する。整流子は互いに接触しないようにして、かつ軸に対象につける。図4。

6-2-4 ブラッシュの製作

抵抗体切出しの際に保存しておいた、切り始めと終わりの5mm幅の2本を $L = 120 \sim 130 \text{mm}$ に切り取り、両端をヤスリがけをして、中心部分15mmの縁を絵柄の方に折る。両方の縁は高さが揃うように注意する(ここが整流子と接触する)これで絵柄の方がやや反り返るような形状になるはずで、ブラッシュに取り付けた際この弾性が接触圧力となり、電流をよく流す役目をする。図5。

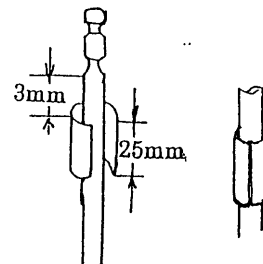


図3 整流子取付部

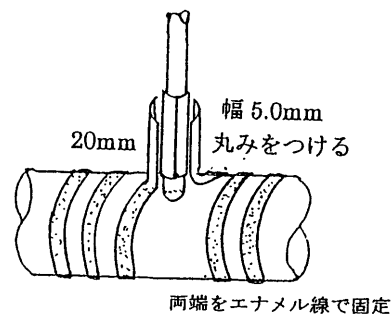


図4 整流子の工作

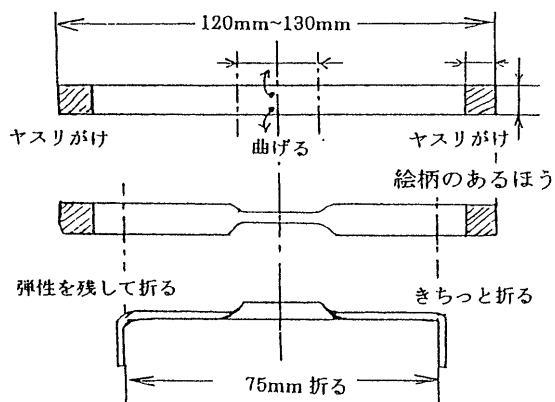


図5 ブラッシュの製作

6-2-5 モーター架台の製作

牛乳パックに図6の型紙を貼り、それに従い切り取る。特に軸穴(2)、ブラッシュ穴(4)は正確に位置決めをする。軸穴ははじめ1mm位とし、後で組み立ての時、調整をする。

6-3 モーターの組み立て

6-3-1 ブラッシュの取付け

取付け位置は整流子と確実に接触させるため、正確を期す。回転するか、成否はここにある。このとき図7のように整流子のブラッシュは中央で接触している。回転軸とブラッシュの直角度、両軸受け面と回転軸の直角度が正確になっているかを確認する。ここに楊枝の頭から整流子を挿入する。このとき整流子への圧力が強すぎないように調整をする。

6-3-2 ブラッシュと整流子の調整

楊枝の頭を回転してみてスムーズに回るように穴径などを調整する。特にブラッシュの圧力は強すぎても弱すぎても、回転しないので念入りに調整する。この圧力調整は、電極でない方のブラッシュをセロテープで固定する際、丸みを残してセロテープで止めるほど圧力は大きくなる。

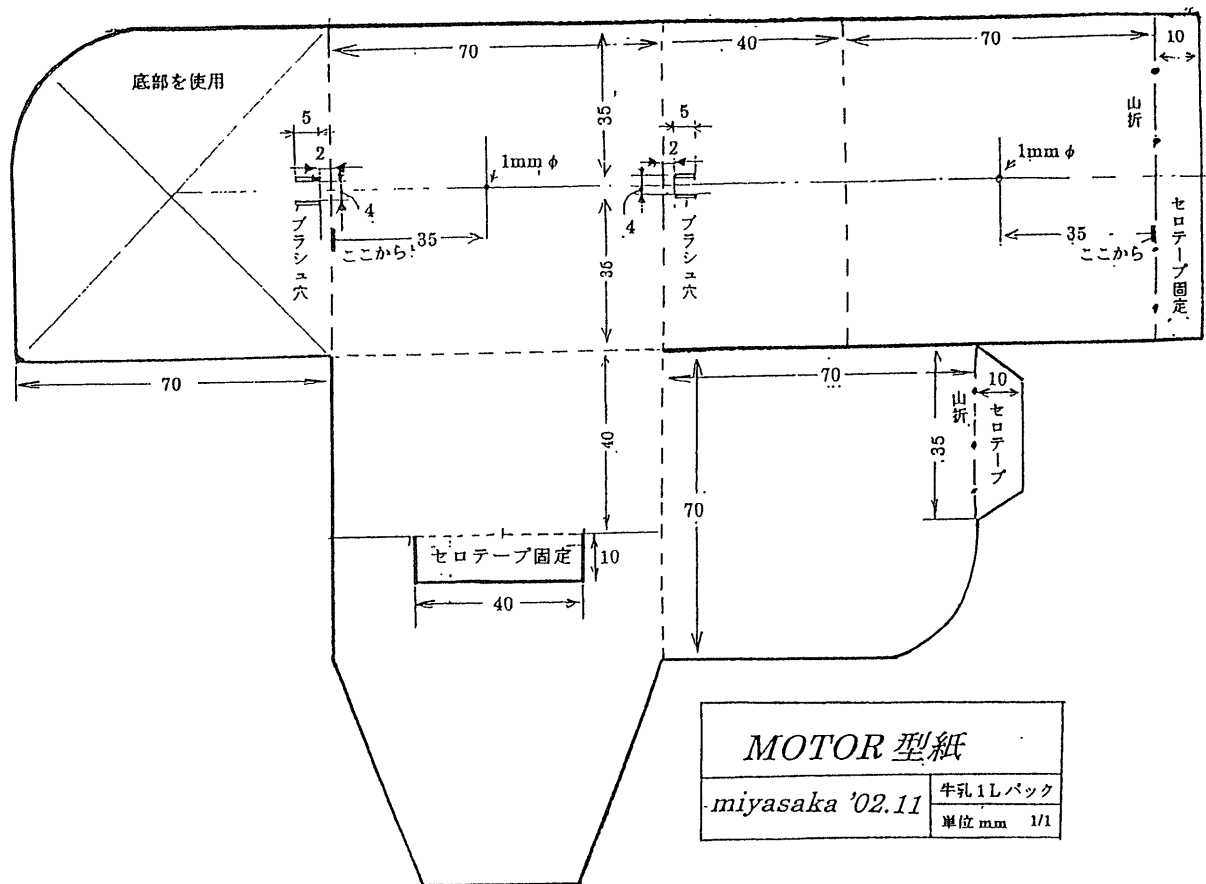


図6 モーター架台

6-4 モータの回転

マークをつけた電極に+電源.他方に-電源をワニグチクリップで接続する.

楊枝の頭を手で回転させながら電圧 10V で電流は 2~3A 流れるかどうかを確認する. このとき半回転ずつ静かに回し,電流の電流計とブラッシュから出る火花から,電流がきちっと流れることを確認する. 流れない場合は回転子の断線,ブラッシュの接触不良が考えられるからチェックする.つまり,回転子の極性が回転方向にある磁石の逆極性になっているようにすれば良い. この場合,進角 (NS 一致からのズレ角度 90~120 度) を調整すると更によく回る.

うまくいかない場合の対策は,次に示す.

<回らない> 電流が回転子に流れていない.電圧が加わっているか,火花が出ているか,軸抵抗,ブラッシュ抵抗が大きすぎる,手で回したときスムーズに回り続けるように再調整する.電流が流れない原因を取り去る.

<回ろうとするが持続しない>軸抵抗とブラッシュ抵抗を少なくする.磁石の位置(進角)を調整する.
<回転したが,途中で止まってしまう>ブラッシュと回転子が振動で変化し接触不良となった.振動で,架台が変化し,軸抵抗とブラッシュの位置が変わってしまった.

7. 結果と考察の報告

実験レポートは次の項目とし,アンケートの提出を求めた.(本紙を組み立てたモータと共に提出,モータにも名前を記入する)

① 製作したモータは次のいずれか?

1. 回転した. 2. 回転しそうになったが持続

しなかった. 3. 全く回転しなかった.

2,3 の場合,考えられる原因と対策を書きなさい.

- ② 今回と前回の実験で苦心した点を列挙せよ.
- ③ 楽しかった点を列挙せよ.
- ④ 2 回の実験での感想を記せ (何か得る点)

8. アンケート結果と考察

アンケートは,25 項目あり無回答も含め,回収率は 100%であった.紙面の関係上,全てを記載することはできなかったが「達成感が味わえることは,大切だと思った」「こんな物から作れる,という感動があった.もう一度挑戦したい」など,肯定的な意見が多かった.中でも「楽しかった!と会話をしていたら,本物のモータみたいに高速回転しました」などの意見は,印象的だった.

一方,肯定的な意見とは反対に「結果的に回らなかったので,モータの提出はできなかった.が,それで,評価されるのが残念です.経過を第一に考えて欲しい」などの意見もあった.

同じ条件の基で,何故こんなに意見が違うのかと考えたとき,アンケート2の「抵抗値の理論的算出は?」の質問に対し「すぐ出来た」と「後で理解した」の合計が 81%を占めているのに対し「よく分からない」は 19%だった.またアンケート5「回転子の製作は?」の質問に対し「楽しかった」と「まあまあだった」の合計が 84%を占めているのに対し「苦痛だった」は 10%を占めているのに対し「よく分からない」は 19%だった.またアンケート5「回転子の製作は?」の質問に対し「楽しかった」と「まあまあだった」の合計が 84%を占めているのに対し「苦痛だっ

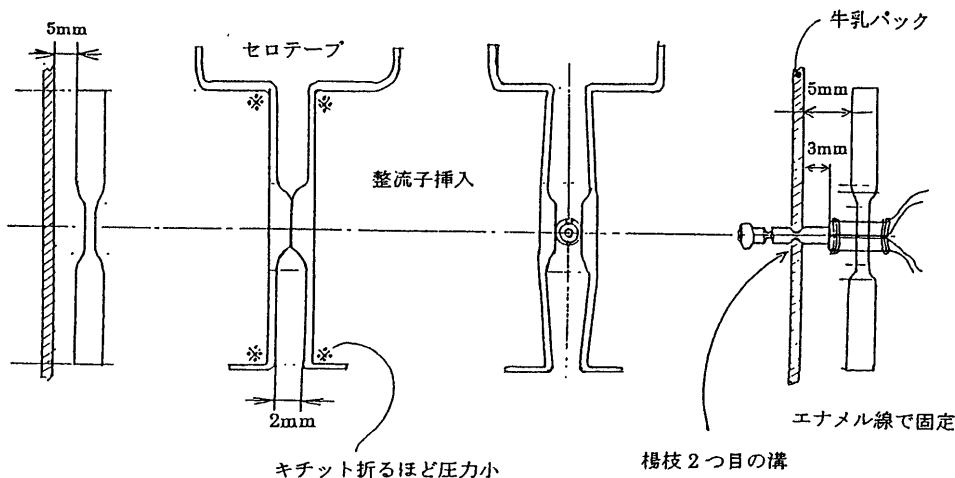


図7 ブラッシュの取付

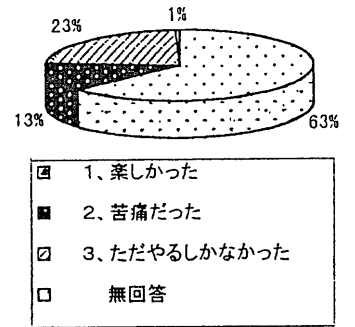
抵抗の製作と測定・ロータの製作に関するアンケート

<抵抗の製作に関して>

1、缶の切り出しは、

- 1、楽しかった
- 2、苦痛だった
- 3、ただやるしかなかった
- 無回答

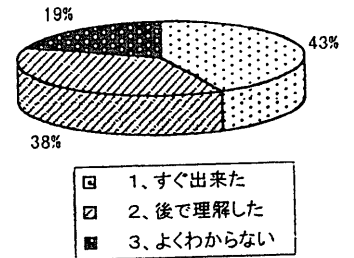
1組	2組	3組	4組	5組	合計
26	29	18	25	23	121
9	3	4	3	6	25
4	6	13	10	10	43
0	0	0	1	0	1



2、抵抗値の理論的算出は

- 1、すぐ出来た
- 2、後で理解した
- 3、よくわからない

1組	2組	3組	4組	5組	合計
18	17	16	16	15	82
15	13	7	20	17	72
7	8	12	3	7	37

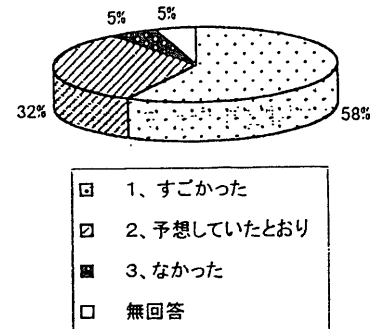


<ロータの製作について>

3、電流を流してみてもジュール熱は

- 1、すごかった
- 2、予想していたとおり
- 3、なかった
- 無回答

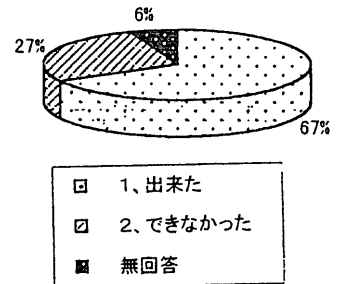
1組	2組	3組	4組	5組	合計
24	25	17	24	21	111
13	12	11	12	13	61
2	0	2	2	4	10
1	1	5	1	1	9



4、磁界の発生の確認

- 1、出来た
- 2、できなかった
- 無回答

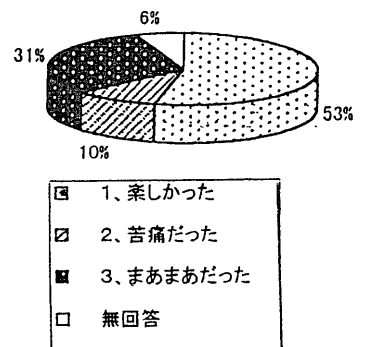
1組	2組	3組	4組	5組	合計
31	30	18	21	28	128
8	7	11	16	10	52
1	1	6	2	1	11



5、回転子(ロータ)の製作は

- 1、楽しかった
- 2、苦痛だった
- 3、まあまあだった
- 無回答

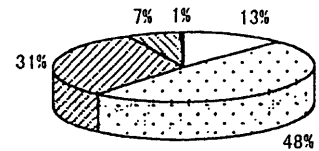
1組	2組	3組	4組	5組	合計
30	20	12	25	15	102
4	4	4	2	5	19
5	14	12	10	18	59
1	0	7	2	1	11



6、整流子の製作

- 1、うまく出来た
- 2、困難だった
- 3、まあまあだった
- 無回答
- その他

1組	2組	3組	4組	5組	合計
6	7	2	5	5	25
23	22	11	17	19	92
9	7	16	14	14	60
1	2	6	3	1	13
1	—	—	—	—	1



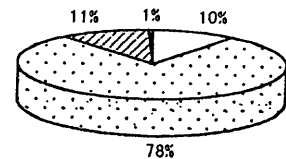
- 1、うまく出来た
- 2、困難だった
- 3、まあまあだった
- 無回答
- その他

<実験の指導について>

7、指導のスタッフに関して

- 1、もっと指導がほしかった
- 2、よく指導してもらった
- 無回答
- その他

1組	2組	3組	4組	5組	合計
6	2	4	4	3	19
29	30	29	29	33	150
5	5	2	6	3	21
—	1	—	—	—	1



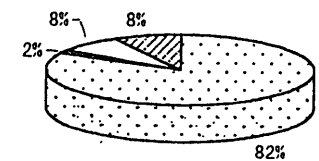
- 1、もっと指導がほしかった
- 2、よく指導してもらった
- 無回答
- その他

<この実験の教育的意味>

8、廃物から抗体を作って学習することに

- 1、評価する
- 2、評価しない
- 3、どちらでもない
- 無回答

1組	2組	3組	4組	5組	合計
36	29	28	34	30	157
1	0	2	0	0	3
0	3	4	1	7	15
3	6	1	4	2	16

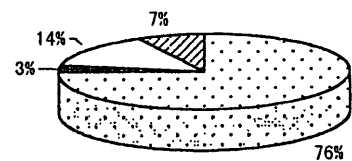


- 1、評価する
- 2、評価しない
- 3、どちらでもない
- 無回答

9、今回の一連の実験(抗体+モータ)は

- 1、楽しかった
- 2、つまらなかった
- 3、どちらでもない
- 無回答

1組	2組	3組	4組	5組	合計
34	29	23	30	27	143
1	0	3	0	2	6
2	4	8	5	8	27
3	4	1	4	2	14

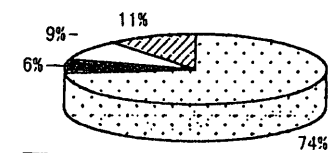


- 1、楽しかった
- 2、つまらなかった
- 3、どちらでもない
- 無回答

10、この実験を来年、次学年行うことに

- 1、やったほうが良い
- 2、やめるべき
- 3、手直して行こう
- 無回答

1組	2組	3組	4組	5組	合計
32	29	25	28	26	140
1	3	4	0	4	12
3	1	2	6	6	18
4	5	4	5	3	21



- 1、やったほうが良い
- 2、やめるべき
- 3、手直して行こう
- 無回答

だった」は10%を占めている。

これらは、幼少時代と小・中学校でのモノづくりを基礎にした創作体験が少なかったことに起因していると思われる。しかし、現在は興味を示さない学生も、適切なカリキュラムにより教育指導を持続すれば、興味や好奇心を刺激し、必ず彼らの素質を伸ばすことができるであろう。

9. 実施の結果

当初、このカリキュラムに対してどのような受け止め方をして参加するのか不安感があったが、一掃された。実施後のアンケート結果に示されるように、学生は自己努力型カリキュラムに一定の評価を下したことでこの試みは成功したと信ずる。教育をする立場からみると、モノづくりの原点にある道具の使い方に工夫を加え、根気強さ・理論的思考を実際の工作に重層させて、作品を完成させ、さらにその測定をした後に結果を自己判断する今回のカリキュラムの目標は達成したと思う。この試みは、与えられた製品(キット)などを組み立てるものとは異なり、身近な廃物を教材として、抵抗の意味を学び、電流によるジュール熱と磁界の発生を確かめたことに新鮮さを感じている。

もっとも危惧したAI缶から抵抗体の切出し(2mm幅で30回)は、写真1にもあるように根気よく取り組んだ。しかも、6割の学生が、楽しかったと回答していることは意外であり、理工系志願の高専生であることを差し引いても、現代の若者の根気強さと忍耐に拍手を送る結果となった。この背景には、アンケートにもあるように、担当指導者のきめ細やかな励ましと惜しみない指導の努力があったためであり、高専の



写真1 抵抗体の切出し

評価の根底は実験実習を支えているスタッフの存在にあるといっても過言ではない。

今後の課題は、成功率の割合をもう少し多くしたいこと、また作品を評価することに対して、賛否の意見が分かれたことを分析し、評価方法の検討をしたい。写真2は回転したモータであり、周りから2~3人の協力した学生達の歓声が沸きあがっている。

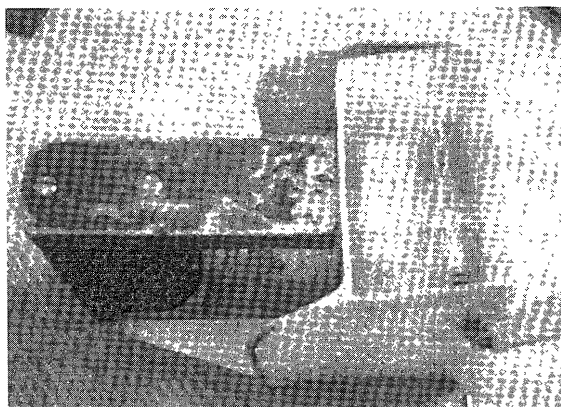


写真2 回っているモータ

10. おわりに

目標にしていたカリキュラムの改革の総括は次の4点である。①モノづくりに基礎をおいた積極的自己参加型学習が成功した。②理論的思考が必要な現象を、身近な廃品を用いて、教材とする教育法は意義があった。③忍耐・根気などの教育では培われにくい部分をモノづくりに基盤を置いたことで、かなり達成された。④最後の完成まで協力し合って、目標を達成し喜びを共有した。

今後の目標は、物理・化学にまたがった新たなテーマの構築と分担型参加による総合作品の制作がある。今後の教育研究に期待したい。おわりに、本実験に懸命に取り組んだ平成14年度2年生の諸君の努力と協力を記して謝す。

参考文献

- 1) 板屋智之・西原恵子：身近な題材を用いた化学実験の実践，長野高専紀要第36号，(2002.6) 215-218.
- 2) 宮坂忠昭：乗っているジェット旅客機を物理実験室にする試み，長野高専紀要第36号，(2002.6) 199-204.
- 3) 精密工学会：「モノづくり教育体系調査報告」，pp68-95 (2000.7)