

中学校技術・家庭科における エネルギー変換に関する教材の提案

松本 金矢*・中西 康雅*

学習指導要領の改訂により、中学校技術教育の内容として新たに「エネルギー変換に関する技術」が取り上げられている。しかし技術教育に関する調査研究では、エネルギー変換を取り扱った実践例が少ないことが指摘されている。技術・家庭科の授業時間数が削減され体験的に学ぶ機会が少なくなっている状況の中で、短時間に実践可能なエネルギー変換教材の開発が喫緊の課題となっている。本研究では、物理学の教科書で取り上げられているジュールの熱エネルギーに関する実験を基に、動力と熱エネルギーとの変換を体験的に学ぶ実験教材を提案する。

キーワード：教材研究、中学校技術科、エネルギー変換、熱の仕事当量

1. はじめに

2009年4月より学習指導要領¹⁾の改訂がなされ、技術・家庭科の技術分野の内容が、

- A. 材料と加工に関する技術
- B. エネルギー変換に関する技術
- C. 生物育成に関する技術
- D. 情報に関する技術

の4領域に変更された。これらは従来の内容を再編したものと考えられるが、それぞれの内容に適合した教材の開発が求められている。

エネルギー変換教材に関わる研究としては、山本²⁾がペルチェ素子を用いた温度差発電を利用し、熱が電気を介して仕事に変換されることを体験的に学習させる教材を提案している。また恵下³⁾は、簡易蒸気機関を用いた電気エネルギーから動力への変換と直接モーターを駆動する場合との比較により、熱の仕事当量および熱効率を考える教材を提案している。これらはエネルギー変換を体験的に学ぶことのできる優れた教材ではあるが、いずれも電気エネルギーを介したものであり、熱エネルギーと動力との直接変換を扱うものではない。また、教具の製作に時間と費用が掛かり、多くの中学校現場で実践可能というわけではない。このようにエネルギー変換領域に適合した教材の開発が進められてはいるが、その普及には課題もある。佐藤⁴⁾は中学校技術科におけるエネルギー変換教育の実践状況に関する調査研究を行っており、その中で動力と熱エネルギーの変換に関する適当な演示・実験教材が少なく、学校現場で取り扱われていない実態を明らかにしている。技術・家庭科の目標には、実践的・体験的な活動を通して学習を進めることが示されている

が、新学習指導要領では選択教科が廃止されたため、技術教育に割り当てられる授業時間数が減っており、そのことが教育現場での実践を困難にしている。したがって、新しい領域に関して、短時間で体験的に学べる教材の開発が必要とされているのである。

このような背景から、本研究では、熱エネルギーと動力(仕事)との直接変換について体験的に学ぶことができる実験教材を開発することを目的とする。

2. ジュールの実験

原動機の開発により、人類は熱エネルギーから動力を取り出すことを可能とし、それ以前とは比較にならないような強大な力を手に入れることができた。それはまさに産業革命の原動力となり、今日の繁栄をもたらした大きな要因の一つであると言っても過言ではない。CO₂排出量の削減が叫ばれる現在においても、この重要性は変わることはなく、省エネルギーや代替エネルギーの開発といった課題解決のために、熱エネルギーから動力を取り出す原理を考えることは重要である。

熱と動力とのエネルギー変換において、最も基本となるのは熱の仕事当量の概念である。これは熱エネルギーを動力に変換したり他のエネルギーを熱に変換したりする際の変換割合であり、エネルギーと熱量との関係を結びつける基本的なパラメーターである。熱の仕事当量を最初に正確に測定したのはジュールであり、中学校理科や高校物理など熱の問題を扱うほとんどの教科書において、図1に示すような実験装置とともにその実験方法が紹介されている。左右の滑車に分銅を交互に乗せ、それが落下する際に恒温槽の中の水を攪拌し、分銅の位置エネルギーを水の熱エネルギーに変換するという実験である。教科書の説明では、この実験は単純で理解しやすく、

* 三重大大学教育学部技術教育講座

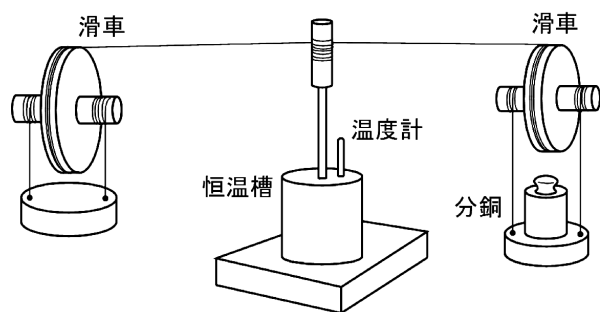


図1 ジュールの実験装置

使用されている装置も特別なものではないことから、誰にでも簡単にできそうな印象を与える。しかしこの実験の困難さは見過ごされており、ジュールの功績は、具体的な実験計画を立ててみるとよく理解できる。

例として、1 lの水を用い、1 kgの分銅を落下させることにより水を攪拌する場合を考える。学校現場で一般的に用いられている 100℃計の温度計で、2桁以上の精度で測定するために 10℃の温度上昇を得ようとする、分銅の落下距離 h はいくら必要であろうか。分銅落下による位置エネルギーと熱エネルギーが等しいとして、熱の仕事当量が 4.186 J/cal であるから、

$$1[\text{kg}] \times 9.81[\text{m/s}^2] \times h[\text{m}] = 1000[\text{g}] \times 10[^\circ\text{C}] \times 4.186 = 41860[\text{J}] \quad (1)$$

$$h \doteq 4270[\text{m}] \quad (2)$$

となり、手際よく行ったとしても実験には何時間も掛かる計算になる。その間、外部から水への熱の出入りを遮断することは困難であり、実験を再現することは容易ではないことが想像できよう。岡本の論文⁵⁾には、ジュールが今から 150 年ほど前に、1/200°F の精度で測定できる特別な温度計を用いて、様々な実験を組み合わせ、20 年を超える時間を掛けることで、高精度の仕事当量の測定を成し遂げたことが詳しく紹介されている。

このような実験を学校現場で実践することはもちろん困難である。したがって佐藤の調査結果にあるように、中学校技術科において動力と熱エネルギーの関係を授業で取り扱っている教員は全体の 1/3 程度にとどまり、しかもそのほとんどが座学中心といった状況になっているのも当然のことかも知れない。しかし、エネルギー変換において、その基礎となる熱の仕事当量を学ぶことは重要であり、それに適した教材を開発することの意義は大きいと考える。

3. エネルギー変換教材の提案

3.1 熱エネルギーの性質

ジュールの実験を再現することができないからといって、熱の仕事当量を公式や数値で説明するだけでは、エネルギーの価値や有効性を十分に理解させることはできない。

様々な形態のエネルギーを等価に変換できるという熱力学の第一法則（エネルギー保存の法則）があるが、熱エネルギーについては、その全てを他のエネルギーに変換することはできないという熱力学の第二法則が存在する。したがってその変換比率である熱の仕事当量を理解することは、エネルギー利用を考える上で重要となる。

例えば、質量 1000 kg の自動車が 60 km/h で走行している場合の運動エネルギーを考えると、

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}mv^2 &= \frac{1}{2} \times 1000 \times \left(\frac{60000}{3600} \right)^2 \\ &= 139000[\text{J}] = 33200[\text{cal}] \end{aligned} \quad (3)$$

であり、これは 20℃の水 400 ml を沸かす程度の熱エネルギーに変換されるが、逆にこのお湯の熱エネルギーを使って自動車を走らせることはできない。熱エネルギーから動力を取り出すためには、大きな温度差が必要であり、一旦熱エネルギーに変換されたものは、他のエネルギーに変換することが困難となる。

このようなエネルギーの特性を、単なる知識としてではなく体験的に学ぶことができれば、指導要領にある「技術を適切に評価し活用する能力と態度を育てる」という目標を達成することにつながるのではないかと考える。

3.2 実験教材

本研究では、エネルギー変換について体験的に学ぶための新たな実験教材を提案する。実験方法は非常に簡便であり、準備物も少なく短い授業時間で実践できるという特徴がある。ここで提案する実験教材とは、ペットボトルに入れた水を振り、その温度上昇を測定するというものである。これにより、ペットボトルを振る回数と水の温度上昇の関係を調べ、水に加えられた運動エネルギーが熱エネルギーに変換される様子を考えさせるものである。

具体的な実験方法を写真 1～4 を用いて説明する。

- ① 実験材料（500 ml のペットボトル、温度計、断熱材、セロハンテープ、水 200 ml）を準備する。（写真 1）

ペットボトルは、大きいものでは加振が困難であり、また小さいと外部からの熱の出入りの影響を受けやすくなる。温度計は 50℃計のように、細かく読み取れ



写真1 実験準備物



写真2 断熱材を巻いたペットボトル



写真3 水温の測定



写真4 加振中の様子

るものがよいが、100℃計でもよい。断熱材は、緩衝包装材のポリプロピレン発泡シートやポリエチレン製気泡シート（プチプチ）など、薄いシート状のものを用意する。

- ② ペットボトルに断熱材を巻いてセロハンテープで留める。（写真2）

断熱効果を上げるために断熱材は2重に巻くが、温度を測定する必要があるため、キャップ周辺は断熱材を巻かないようにする。温度測定時に机に置くことも考えて、底からの熱の出入りを遮断するため、底部も断熱材で覆う必要がある。

- ③ ペットボトルに水を入れ、水温が室温と同じになるように、お湯や冷水を入れて調節する。（写真3）

水道蛇口からくみ出された水の温度は、室温と異なることがあり、外気からの熱の出入りを小さくするためである。実験中エアコン等を用いて室温を一定に保つなどの工夫をするとよい。

- ④ キャップをして片手で持ち、一定のリズムと振幅で上下に100回振り、水温を計って記録する。（写真4）
振幅や振動数が変化すると温度上昇率が変化するた

め、一定に保つことが重要である。水の入ったペットボトルを加振するには体力が必要であるので、実験者に無理のない振幅・振動数に設定する。

- ⑤ この操作を20回程度繰り返す。

加振回数が多ければ温度上昇は大きくなるが、実験時間が長くなり、外気の影響を受けやすくなるため、実験が1時間程度で終了するようにする。

- ⑥ 振った回数と水温との関係をグラフにし、作成したグラフから、動力と熱の関係について考察する。

3.3 理論的考察

この一連の実験におけるエネルギー変換について考える。

ペットボトルに入れられた水は、断熱材によって外部との熱の出入りは遮断されているものと考えられる。ペットボトルを上下に加振すると、ペットボトル内の水は腕から上下方向に加速させられ、水には運動エネルギーが与えられることになる。

このときの強制振動を調和励振であると仮定すると、振幅 A 、加振円振動数 ω の場合、変位 x および速度 v は

次式で表される。

$$x = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (4)$$

$$v = A\omega \cos(\omega t + \varphi) \quad (5)$$

ここで、 t は時間、 φ は位相を表す。強制加振で水に与えられる運動エネルギー E は、1周期で上下方向に2回加速されるため、速度の最大値 v_{\max} を用いて、

$$E = 2 \times \frac{1}{2} m v_{\max}^2 = 2 \times \frac{1}{2} m (A\omega)^2 = m(2\pi A f)^2 \quad (6)$$

となる。ここで、 m は水の質量、 f は加振振動数である。この運動エネルギーが、水の分子運動すなわち熱エネルギーに変換されるものとする。

例えば、片振幅 $A=0.2$ m とし、1秒間に2回加振するつまり $f=2$ Hz とすると、1周期の加振で与えられる運動エネルギーは水の質量を m とすると $E=6.32$ mJ となり、温度上昇は 0.0015°C となる。すなわち、ペットボトルを1000回振ると約 1.5°C の温度上昇が得られる計算になる。

実際にペットボトルを加振した場合の加速度の測定結果を図2に示す。これは、500 ml のペットボトルに200 ml の水を入れ、上下方向に片振幅 $A=0.2$ m、周波数 $f=2$ Hz で加振した場合の、ペットボトルの加速度をキャップ上面に貼付した加速度ピックアップで測定したものである。

加速度 a は、式 (5) を微分して、

$$a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi) \quad (7)$$

となる。これに振幅 $A=0.2$ m、周波数 $f=2$ Hz を代入して得られる最大加速度の絶対値は $|a_{\max}|=31.6$ m/s² となる。図2を見ると、重力の影響により上向きの加速度（マイナスの値）が下向きの値よりも絶対値が小さくなっているが、重力加速度 $g=9.81$ m/s² を差し引くと、最大加速度がほぼ ± 30 m/s² となり、式 (7) で求めた値とよく一致することがわかる。したがって、図2の波形は必

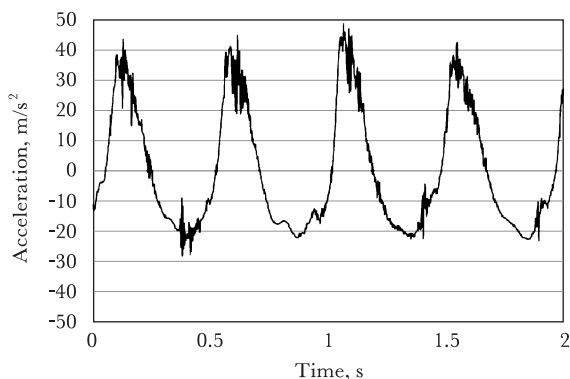


図2 ペットボトルの上下方向加速度

ずしも調和振動とは言えないが、最大加速度において、調和励振された場合に近い状態であることが確認できる。

4. 提案教材を用いた授業の実践

教育学部で開講している『熱力学』の講義において、提案した教材を用いた実験を行った。

実験者は技術教育コースの大学生9人である。いずれも500 ml のペットボトルに200 ml の水を入れて加振し、温度を 100°C 計で測定した。実験結果として、加振回数と測定された水温の関係を図3に示す。

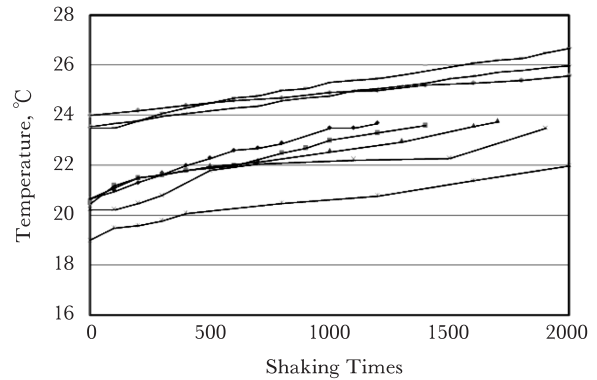


図3 加振回数と水温の関係

図3を見ると、加振回数にほぼ比例して水温が上昇していることがわかる。実験者により初期温度や加振回数が異なり、加振における振幅や周波数には変動や個人差があるが、それぞれのグラフの傾きはほぼ一定で、似通っていることがわかる。9人のグラフの傾きの平均値は 1.50×10^{-3} [$^\circ\text{C}/\text{回}$] であり、これは式 (6) で求めたものとよい一致を示している。つまり、提案する実験教材では、熱の仕事当量を定量的に同定することも可能であることがわかる。

このように、提案した教材は非常に簡便な実験であるが、運動エネルギーと熱量の関係を理解するには適しており、再現性も高いと言える。実験に要する時間は、準備を含めても1時間弱であり、1時限の授業時間内に実践することも可能である。

実験を行った学生は、

「加振回数と温度上昇が比例することがよくわかった。」

「多くの運動エネルギーを与えても温度がほとんど上がらないことに驚いた。」

などの意見を述べている。本教材は、直接的に熱の仕事当量を測定したり導いたりするものではないが、腕からの運動エネルギーが熱エネルギーに変換されることや、その熱エネルギーが思ったほど大きくならないことを実感することができる。このことから、本教材はエネルギー変換の原理と熱量の変換割合（熱の仕事当量）の概念を、実践的・体験的に学ぶのに適しているものと考えられる。

5. まとめ

中学校技術・家庭科技術分野のエネルギー変換に関する教材として、ペットボトルを用いた簡易実験教材を提案した。理論的な考察と測定結果とを比較したところ、実験結果は理論から予測される結果と良く一致し、再現性が高いことが明らかとなった。また、エネルギー変換の概念や熱の仕事当量について、短時間で実践的・体験的に学ぶ教材として有効であることがわかった。

これまでの理科や技術教育における実験教材は、実験の厳密性や測定データの精度に重点が置かれることにより、装置が複雑化したり準備に時間が掛かるなどの問題があり、削減された授業時間や限られた予算では実践が困難なものが多いのではないかと考える。理論を実践的・体験的に学ぶことの目的は、厳密な値を求めることにあるのではなく、実際の現象を身近に捉え、素朴な理解を促すことにあるのではないだろうか。したがって、本研究で提案するような簡易な実験教材を開発することは、生徒の学ぶ機会を多くすることに繋がるものと考ええる。

附 記

本研究は、2008－2010 年度 科学研究費補助金 基盤研究（B）「デマンドサイドのニーズに即した教科領域を超えた教材開発と評価方法の研究」（課題番号：20330182、代表：松本金矢）の成果の一部である。

参考文献

- 1) 文部科学省：中学校学習指導要領，第 8 節技術・家庭科 [技術分野]
- 2) 山本利一，創造性豊かな人材育成を図る科学技術教育推進のための教材開発：エネルギー技術を体験的に学習する教材・教具とカリキュラムの開発，埼玉大学総合研究機構研究プロジェクト研究成果報告書，第 5 号，pp.13－16，（2007）
- 3) 恵下 敏他，生活環境教材研究（IV）：熱の仕事当量と熱効率実験の簡易化，宮崎大学教育文化学部紀要（自然科学），**Vol.12**，pp.1－8，（2005）
- 4) 佐藤 博，中学校技術科におけるエネルギー教育についての調査，教育実践学研究：山梨大学教育学部附属教育実践研究指導センター研究紀要，**Vol.11**，pp.26－38，（2006）
- 5) 岡本正志，ジュールによる熱の仕事当量の測定実験，熱測定，**Vol.29**（5），pp.199－207，（2002）