

実験による「エネルギーとその有効利用」の学習法の開発 — 実験ワークシートの開発 —

新谷 明雲

山口県立大学共通教育機構

Learning Method on Concepts of Energy and its Utilizability through Experiments — Proposal of Work-Sheet Analysis —

Meiun SHINTANI

The General Education Division of Yamaguchi Prefectural University

Abstract

We propose a learning method on concept of energy and its effective ways of utilizability through experiments using work-sheets. By three examples in our daily life, students at our university are easily led to understand the concepts of heat and energy.

キーワード：ワークシート、省エネルギー、仕事、熱、温度、エネルギー効率、コジェネレーション、
Key Words: work-sheet, energy-saving, energy, work, heat, temperature, energy efficiency, co-generating power

§1 はじめに

地球温暖化の問題や福島原発事故以来、資源エネルギー問題、省エネルギー、再生可能エネルギーの活用・創発といった文脈で「エネルギー」という用語がインターネットや新聞紙上をはじめいたるところで否応なく目にする。しかし、中学生、高校生のみならず一般の大人がこの用語を理解して使っているかはなほ疑問である。「エネルギーの枯渇」という言葉をよく耳にする。が、エネルギーは「保存」するもので「枯渇」するものではない。エネルギー問題とは、資源から仕事を引き出すこと。少々学問的になるが資源とは物質が低エントロピーの状態にありそれを高エントロピーの状態に移る過程において発生する熱エネルギーの一部を「仕事」に変換することであり、俗に言う「エネルギー問題」とは「エントロピー問題」なのである。ではエントロピーって何ですか、と疑問が湧いてくる。

本稿では省エネルギーの実験を通して「エネルギーとは何か」を学ぶことを提案するものである。対象は中学生以上である。しかしながらいきなり無防備に「省エネルギー」から入って「エネルギーとは何か」を学ぶことには無理がある。予め「エネルギー」「熱」「温度」「仕事」「エネルギー効率」「物

理単位」等についての基本的事項の学習、確認が必要である。その際、教師はできる限り具体例を盛り込むことに注意したい。生徒自ら疑問を抱き、自ら確認しようとする姿は理想ではあるが、皆がそうするには時間が足りない。そこで事前学習の際に「君の予想を聞かせてくれ」、「どうしてそう思ったのか」など、教師から発問することが問題意識の発揚につながる。ここでは各ワークシート中に発問例を挿入してみたが、現場では生徒の理解度に応じ適宜工夫されたい。その上で実験を行い、その結果の分析を通じてフィードバック方式で基本事項の理解を深めることが可能となる。

次章ではエネルギーの事前学習の例を示す。第3章では「エネルギーの有効利用」について3つの実践例をワークシート形式で示す。

§2 エネルギーについての事前学習（例）

物理量としての「仕事」「エネルギー」「仕事率」の定義および単位にふれ、「エネルギー効率」と「仕事率」との混同に注意を喚起する。「熱」「温度」「比熱」「熱量」「熱の仕事当量」等について一通りふれておく。「温度」については分子運動の激しさの目安を与える量ということ。熱力学第2法則の理解に

は欠かせない「絶対温度」の存在についてもシャルルの法則から説明する。また絶対零度に近づくにつれて分子の運動の激しさが温度に比例して低下し、絶対零度では物質の運動がフリーズしてしまうことになる、といった程度に。

エネルギーの性質その1：
あり方（存在様式）の多様性の説明

エネルギーとは「仕事をする能力」であり、以下のようにさまざまなエネルギーが知られる。

- ・力学的エネルギー（運動エネルギーと位置エネルギー）
例：重力による位置エネルギー、ばねの弾性エネルギー
- ・化学エネルギー
例：イオン化エネルギー、結合エネルギー、反応エネルギー
- ・原子核エネルギー
例：核融合エネルギー（恒星のエネルギー）、核分裂エネルギー（原子爆弾、中性子爆弾、原子力発電）
- ・熱エネルギー
例：摩擦熱、燃焼熱
- ・光エネルギー（厳密には光子の運動エネルギー）
- ・電気エネルギー、音エネルギー、振動エネルギーなど

エネルギーの性質その2：
エネルギー形態の相互転化性

例1：火力発電所では、石炭（重油、天然ガス）の燃焼によってお湯を沸かし、蒸気を生じさせ、その蒸気の膨張する際の圧力で発電機のタービン（羽根車）を回転する。磁石の棒の回転によって、電磁誘導を引き起こし高圧電気（50万V）を発生。電気エネルギーを送電線で送り変電所で低電圧（例えば6000V）におとし、利用者（家庭、工場など）の電柱で100V、ないしは200Vに落とす。変換は何回か？原子力発電所では、化学エネルギーが約100万倍の原子核反応のエネルギーに置き換わるだけである。あとは同じ。

例2：太陽光発電装置は、光半導体を用いて光エネルギーを電気エネルギーに変換する。この電気を用いポットでお湯を沸かせば、電気エネルギーが熱エネルギーに変換される。変換は2回。

例3：太陽熱発電は集光器を用い、温熱をつくりそれから発電を行う。

例4：太陽温水器は光エネルギーを集光し水の温度を上げる。変換は一回。

エネルギーの性質その3：

エネルギーは減りも増えもしない（エネルギー保存則、または熱力学第一法則）

エネルギーの性質その4：

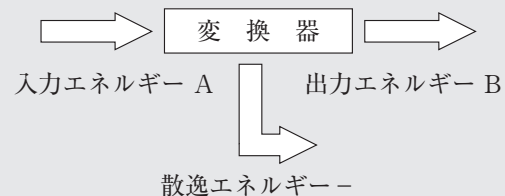
熱エネルギーの100%を仕事（他のエネルギー）に変えられない（熱力学第二法則）。高熱源（ T_2 ）から低熱源（ T_1 ）への熱の移動を通じて行う仕事への変換率 η は、

$$\eta < (T_2 - T_1) / T_2$$

となる。すなわち 1 より小（100%以下）。これを「エネルギー劣化」という。

仕事を熱に変える試みは、ジュール（フランスの物理学者）によってなされた。その結果1カロリー（cal）は4.2ジュール（J）であることが分かった。これを「熱の仕事当量」という。コジェネレーションでは、発電による廃熱を利用して電気を再びおこしたり、そのままでお湯を沸かしたり、ヒートポンプで冷暖房に用いたりする。

エネルギー効率 η の定義：

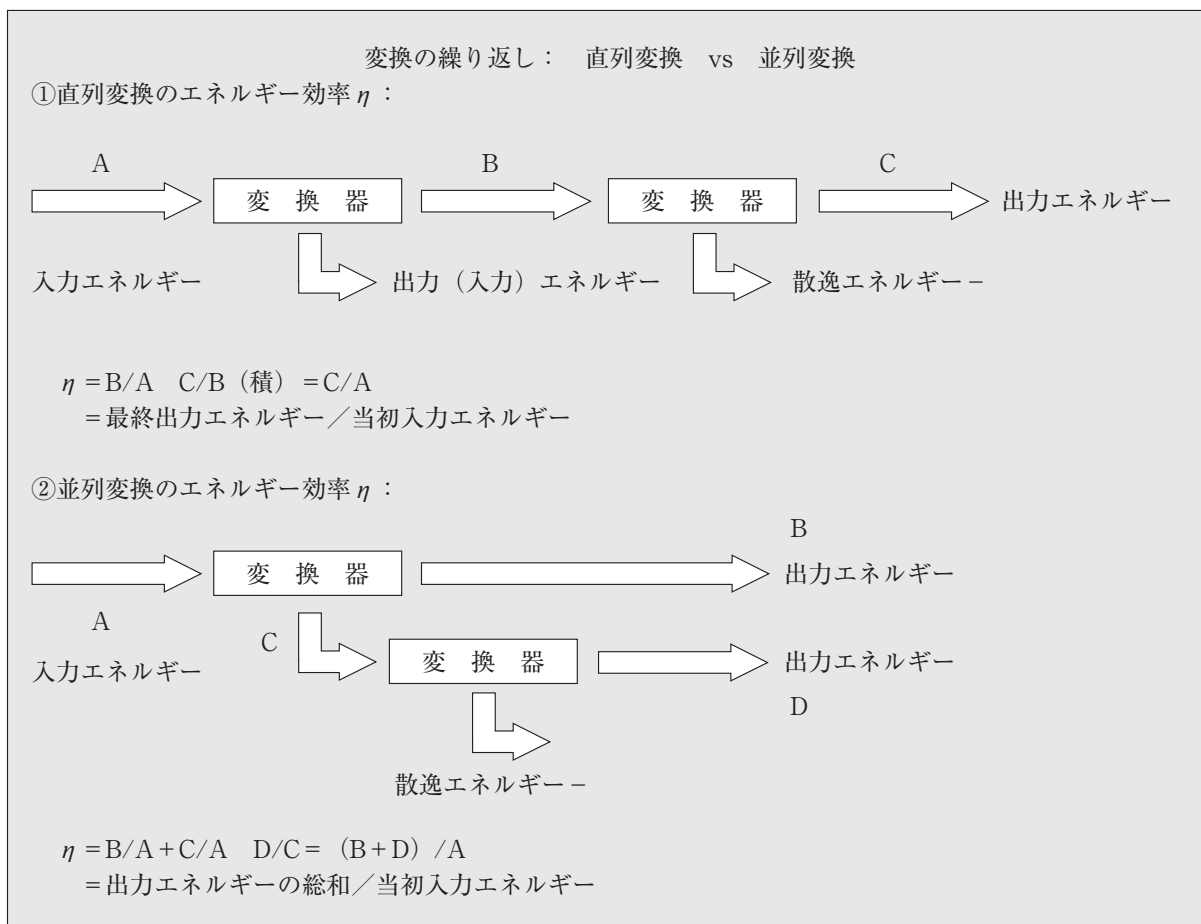


$$\eta = \text{出力エネルギー} / \text{入力エネルギー} = B/A$$

エネルギーの性質その5：

エネルギー変換を繰り返すたびにエネルギー散逸が起こる（エネルギー散逸、俗にエネルギーロスという）。

例：火力発電所では60%が大気中に熱エネルギーとして散逸する。原子力発電所では70%が大気と海洋に熱エネルギーとして散逸する。送電ロスは距離によるが5%以上がジュール熱として大気中に消滅。ハンマーで杭を打つとき、地面の揺れ、火花や音が発生する。



例. 直列変換の例として、発電所から送電、変電所、送電、変電所、変圧器、家庭。発電所の中でもエネルギーの直列変換が何度も行われている。自動車のエネルギー効率も同様に計算される。エンジンのエネルギー効率×機械効率。コジェネレーションは並列変換の例である。コジェネの設置例として、山口県立総合医療センター（防府市）がある。柳井港から天然ガスをパイプラインで輸送、館内で発電、廃熱を暖房、給湯に供している。

§3 「エネルギーの有効利用」について実践を通してまなぶ

以下に示す3つの実践例をワークシート形式で学ぶ。

《ワークシート1 「電球にみるエネルギー消費量と費用効果の計算」》

(目的) 4万時間におけるLED電球、電球型蛍光灯、シリカ電球60型のエネルギー消費量と費用計算を求め比較する。電気エネルギーの枯渇資源に頼る現状から、エネルギー消費量（電力量）の少ない製品が地球資源にとって好ましいと言える。一方、電気の利用者にとって支払費用（総電力料金+電球購入費用）が少ないものがより好ましい。この2つの順位が一致するかは計算してみないと分からない。このシートでは、全光束（光源の明るさ）を810（lm）になるものを選び製品比較を行った。1 kWh あたりの電力料金（単位電力料金）が変わると支払電力料金に影響するので、これが、50円、100円と変わる時の支払費用を計算する。費用効率の順位がどのように変わるかを見てみよう。

(ワークシートの完成) 製品に書いてある基本データをまず記入し、さらに下のシートを計算し完成させよう。

種類	基本データ					
	製品名	メーカー	全光束 (lm)	単価 (円)	定格消費電力 (W)	定格寿命 (h)
①LED電球	LEL-AW8N	T社	810	8,700	8.7	40,000
②電球型蛍光灯	EFA15EL/10-PD	T社	810	980	10.0	12,000
③シリカ電球60型	LW100V54W	P社	810	120	54.0	1,000

810 (lm) に一致!

測定時間をLED球に一致!

単位電力料金25 (円/kWh) の場合：4万時間のエネルギー消費量 (電力量) と費用の計算する。

種類	計算値						
	4万時間の電力量 (kWh)	エネルギー消費 (対シリカ電球)	支払総電力料金 (円)	個数	電球総価格 (円)	支払費用 (円)	費用効率 (対シリカ電球)
①LED電球							
②電球型蛍光灯							
③シリカ電球60型	2,160	1.00	54,000	40.0	4,800	58,800	1.00

(課題) 黒の太枠は、単位電力料金の変化に伴い変化する。電力料金が値上がりする場合、たとえば50円、100円となった場合もシートを作成してみよう。(考えてみよう) ①単位電力料金が25円の場合にLED球は経済的にもエネルギー的にもお得 (個人的お得感と地球のお得感) であると言えるだろうか。②エネルギー消費量、費用計算の多寡から分かることは何かを考えよう。③エネルギー消費量の中には、製品を作るのに要したエネルギー量が加算されていない。その意味で、正確な計算にはライフサイクル・アセスメント (LCA) の手法が必要である。一方、購入価格には、人件費、製品を作る際のエネルギーコスト等が反映されている。しかしエネルギーコスト分だけを抽出することはここではできない。どうすればそれが可能かを考えてみよう。

《ワークシート2「家庭用湯沸かし器のエネルギー効率比較実験」》

(実験の目的)

電子レンジ、電気ポット、IH調理器、カセットコンロ (ボタン100%) で水500グラムを沸騰に近い温度に上げるときのエネルギー効率を求めよう! どれが最も効率が良いかを調べ省エネルギー生活に役立てる。効率の高い順にあなたの予想を記入してください。

1位:	2位:
3位:	4位:

(実験の方法)

- 使用電力量：ワットアワーメーターを使用
- 使用ガス量：電子天秤により重さの変化を測定
- エネルギー効率：各家電製品とガスコンロで水を熱する

$$\text{エネルギー効率 } \eta (\%) = \frac{\text{水の得たエネルギー}}{\text{投下エネルギー}} \times 100$$

電子レンジ、電気ポット、IH調理器

投下エネルギー (kJ)
= 電力量 (Wh) × 時間 (s/h) ÷ 1000

水の得たエネルギー (kJ)
= Δ水温 (°C) × 水の比熱 (J/g·°C) × 水の質量 (g) ÷ 1000

ガスコンロ

投下エネルギー (kJ)
= 使用ガス量 (g) ÷ 分子量 × 燃焼熱 (kJ/mol)

水の得たエネルギー (kJ)
= Δ水温 (°C) × 水の比熱 (J/g·°C) × 水の質量 (g) ÷ 1000

ブタンの分子量は58、燃焼熱は2859 (kJ/mol)

水の比熱は、4.2 (J/g·°C)

実験値をワークシート記入し「エネルギー効率 η 」を求めよう。

電化製品の種類	投入エネルギー (kJ)	水温変化 Δt (°C)	水の得たエネルギー (kJ)	エネルギー効率 η (%)	総合効率 $\eta 1$ (%)
①電子レンジ					
②電気ポット					
③IH調理器					
④カセットコンロ					

求める順位は、 η の大きい順に

1位:	2位:
3位:	4位:

落とし穴は無いかな！これで正しいかな？

ガスは1次エネルギーだが、電気は一次エネルギー（枯渇エネルギー）の燃焼の結果得られた2次エネルギーだ。電気を作る際に、発電所で一度お湯を沸かしている、それに送電もしている。全プロセスのエネルギー効率を掛け合わせた「総合効率」で考え直す必要がある。

∴

$\text{総合効率 } \eta 1 (\%) = \text{発電所のエネルギー効率} (0.4) \times \text{送電効率} (0.95) \times \eta$

さ〜て最終順位はどうなったかな？

1位:	2位:
3位:	4位:

ということは、電気を使う限り発電所でのエネルギー損失60%の壁を乗り越えることは出来ない、となる！

Q：総合効率の逆数はどんな意味？

A：1の大きさのエネルギーを消費するとどれだけの化石燃料を使ったことになるかを表す。1より大きければ大きいほど資源を浪費していることになる。

閑話休題：夜間蓄熱式のエコキュートやヒートポンプは従来の給湯器や冷暖房に比べれば省エネルギー性で約30%、CO2量で約50%の削減とのこと。電気を電気と比べての話だから、ガス（重油／軽油）をガス（重油／軽油）で比べても同じ話になるはず。うーん、となると一次エネルギー方式の方が断然……かな？

◀ワークシート3「保温型電気ポットの分配を見る実験」▶

（実験目的）保温型電気湯沸し器の沸騰に費されるエネルギーと保温に費やされるエネルギーの割合を求める。

（実験方法）毎日ある時刻に電気ポットの水2ℓを使い切り、真水2ℓを給水する。24時間後に再び2ℓを消費し、真水2ℓの給水を行うパターンを考える。ストップウォッチと積算電力計（アットワット・メーター）を用い沸騰（97°C設定）までの時間（ $t=A$ （分））とそれに要した電力量（Wh）を測定する。その後保温モードに入るので1時間（ $t=60$ （分））後の電力量（Wh）を測定する。1時間後にこだわる必要はなく、2時間後でも3時間後でもよいが、授業時間中に終わるためには早くとも30分後以降の測定値がほしい。測定の精度を上げるにはできるだけ時間幅を長くとる方が保温モードの安定性から望ましいのは言うまでもない。

以下のワークシートにまず初期値と測定結果を記入する。

ただ今の 気温	℃	ただ今の 水温	℃
------------	---	------------	---

時間（分）	0	～	A	60
水温（°C）			97	97
電力量（Wh）	0		B	C

（計算式）

・保温の電力（W） = $\frac{60}{(60-A)} \times (C-B) = D(W)$

：保温中はD（W）の電球が点灯しているのと同じ！

・1日の保温電力量(Wh) = $23(h) \times D(W) + (C-B)(Wh)$
= $23D + (C-B)$

・保温のエネルギー割合（%） = $\frac{23D + (C-B)}{23D + C} \times 100$

(測定例) 気温28.3℃、水温27.5℃、A=18分、
B=215Wh、C=233Wh、保温の電力(W)=25.7(W)、
1日の保温電力量=609.4(Wh)、1日の電力量=
824.4(Wh)

保温エネルギーの割合(%) = $609.4 \div 824.4 \times 100$
= 73.9(%)

ポットの消費する電力量のうち26%は昇温に、残り
74%は保温に使われることが分かる。ポットの上手
な使い方として必要な時に必要な量を沸かせばよい
ことにならないか。

(疑問沸騰) 1) 保温にそんなにかかるとしたら、
えらいこっちゃ、どないしたらええんか? 2) 保
温製品ってほかにある? あるある、電気釜!! 3)
電気冷蔵庫なんかは保冷だけど、やっぱ同じか
な? 4) 冷凍食品に頼ってるけど、生活スタイル
変えんなんと違うか? 5) 食べ残しを冷凍保存、
解凍・加熱はチーンでやってます。これ悪いん
とちがうか? 昔の人は言いました「旬に旬のものを!」
(試してみよう) 上の測定は7月の夏場に行ったも
のである。気温、水温が低い冬場に行ってみよう。
さてどんな結果が出ると予想されるか? そして確か
めてみよう!

§4 おわりに

前の章で取り上げたものはほんの一例に過ぎない。
他にもいろいろな例があげられる。ワークシート
はどんどん出来上がる。例として、窓から出るエネ
ルギーを熱伝導の公式(フーリエの公式)を使って、
計算すると面白い。

窓がエアコンの役目をすることに気付く。夏には
暖房装置の、冬には冷房装置の役目をし、われわれ
の省エネルギーとは真逆の働きをしてくれる。その
ために窓にビニールのシートを張ったらどうか、い
や空気層の入ったフィルムを張って見たらどうなる
か? 厚さを変えたらどうか? 等々。より断熱効果
が高いのは…予想(「仮説」)を立て実験してみるこ
とは驚きの連続で実に面白い。ドライヤーを「ホッ
ト」にしたときと「コールド」で使うときでは使う
電力量の差はどうなるだろうか? お風呂の温度や
シャワーの温度を一度下げるとどれくらいの省エネ
ルギー効果をもたらすか?

それらをワークシート形式にして、マスを一つ
一つ埋める作業を通してエネルギーや熱といった一見

難解そうな概念も理解が可能となる。

科学の学習ないしは教授法において重要な点を付
言したい。一つは不変量に注目することである。エ
ネルギーはそのよい例である。当然、不変量に対し
て変化量をとらえることである。不変な中にも変化
する量があることである。運動エネルギーや位置エ
ネルギーは変化してもその和である力学的エネル
ギーは不変に保たれる。これに熱エネルギーへの変
化もあるならば、熱も含めたエネルギーの総和の不
変性に至る。熱への変化の中で不変に保たれない量
もある。エントロピー変化である。物理教育のなか
でこれを理解させるのは容易ではない。孤立系と開
放系といったシステムへの理解が求められる。星や
銀河、生命などの構造形成はエントロピー減少に向
かう。しかし、それを包む宇宙や環境全体でみると
エントロピー量は増加する。熱力学第二法則はこの
エントロピーの増大にかかわる法則で自然科学では
特異な光を放ち、古今東西学習者を悩ませている。
次に重要なものは、我々の意思や経済活動と関係し
ている。可変な量とそうでない量との分類である。
「可変な量」は「コントロール変数」ないしは「実
験パラメーター」といった方がわかりやすい。水道
水を例にとれば水の使用量や水温である。お風呂が
使うエネルギー量を節約するという省エネルギー省
の観点に立つときこのような量に注目する姿勢が重
要となる。課題1では、電球の単価の変動や性能(寿
命)の変化をとらえることが重要となる。もちろん、
電気料金は言うまでもない。

昨今、教育の効率性の観点からか大学における共
通教育の授業から「実験」と称するものが消えつつ
ある。共通教育の目的の一つに教養主義がある。講
義で学んだ事柄を実験により再確認することを通し
てより深い理解、感動が得られそのつみ重ねが知に
至る。

謝辞

本稿で取り上げた実践例は、山口県立大学の生活
科学部生活環境学科の卒業研究及び教職専門科目
「家庭」の中の必修科目「家庭電気・機械」の授業
の中で実際に著者が行った一連の実験、シュミレー
ションの一部からの引用である。協力していただ
いた学生諸君に謝意を表す次第である。