

自転車型人力発電機の開発とエネルギー環境教育

八田 章光*

(受領日：2013年5月7日)

高知工科大学システム工学群
(高知工科大学エネルギー科学教育研究会)
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185

* E-mail: energy@kochi-tech.ac.jp/ hatta.akimitsu@kochi-tech.ac.jp

要約：持続可能な開発を目指して「持続発展教育」が注目されている。持続発展教育は知識の集積や理解だけではなく、行動や判断の拠となるような価値観を形成することが目標であり、エネルギー環境問題は大きな柱である。高知工科大学は平成14年度からエネルギー教育に先進的に取り組み、エネルギー科学教育研究会を中心に「エネルギーと地球環境こどもサミット」の開催や、教材としての人力発電機の開発で成果をあげてきた。東日本大震災と福島原発事故によりエネルギー問題への関心は高まり、エネルギー環境教育の新たな展開が求められていることから日本エネルギー環境教育学会を設立し、感情的な反原発ではなくニュートラルな立場でエネルギー教育の取組みを再開した。エネルギー環境教育はエネルギー概念、エネルギーの恩恵、エネルギー消費の環境影響、エネルギー資源、および行動実践の5つの要素で構成される。このうちエネルギー概念を形成することが最も難しく、人力発電でのアプローチが有効である。また我々自身が、エネルギー環境問題に向かい合い、解決を目指す実践が求められる。過剰な環境負荷抑えつつ、心豊かに楽しく生きるライフスタイルを実践したい。

1. はじめに

持続可能な開発あるいは持続可能な社会と表現される Sustainable Development という考え方や価値観が日本でも急速に浸透してきた。2002年の国連総会で議決された「持続可能な開発のための教育 (ESD: Education for Sustainable Development) の10年」は2005年から2014年までである。この長い訳語に代えて「持続発展教育」というネーミングを使うことが日本ユネスコ国内委員会で決定されたが日本語訳はまだ普及には到っていない。日本では「国連持続可能な開発のための教育の10年」実施計画¹⁾が2006年3月(2005年度の年度末)に閣議決定されたものの、実際の教育は10年毎の学習指導要領の改訂に合わせて始まり、ようやく2011年度から本格的にESDに取り組むことになった。今回の学習指導要領²⁾には各科目や単元を学ぶ背景や目的として「持続可能な○○」という言葉が繰り返し登場しその価値観を普及させたいという意

図が明確に読み取れる。

ESDは個々の知識の集積や理解だけではなく、行動や判断の拠となるような価値観を形成することが目標である。我々大人の世代は、この価値観について理解することはできるであろうが、我々自身が持続可能という価値観を行動や判断の拠とすることは難しいであろう。資源の浪費と環境への過負荷という問題を知りつつも、目先の経済成長を追い求める風潮が今の世界を支配している。

文部科学省が示した「ESDの基本的な考え方」³⁾では、例示として環境教育と並ぶエネルギー教育を掲げている。エネルギーと環境の諸問題は持続可能な社会を考える上で欠かすことができない。このうち環境教育は自然環境保護活動やゴミ分別、省エネなど生活行動規範として教えることが容易であり、学校教育の中にすでに浸透している。これに対してエネルギー教育は学校でほとんど取り上げられない。エネルギー問題について、我々、現代の大人が目指すべきゴールを明確にできていないため、いま

だ学校教育で扱うことが難しい。

本稿では高知工科大学が先進的に取り組んできたエネルギー教育、エネルギー環境教育の背景や経緯と活動概要、さらには理科教育におけるエネルギーの扱いなどについて紹介したい。

2. エネルギー教育普及活動

2.1 エネルギー教育取組みの経緯

高知工科大学は平成 14 (2002) 年度、当時の(財)社会経済生産性本部(現在の日本生産性本部)・エネルギー環境教育情報センターの『エネルギー教育調査普及事業』による『エネルギー教育地域拠点大学』に選定され、高知県内の教育機関やエネルギー関連企業と協力して、エネルギー科学教育研究会を設立、地域のエネルギー環境教育に取り組んできた。当該事業は経済産業省資源エネルギー庁がエネルギーの適切な利用に関する啓発及びエネルギーに関する知識の普及を目的に行ってきた事業である。本学は平成 16 年度までの 3 年間『エネルギー教育拠点大学』に指定され活動の基盤を構築した。平成 17~19 年度の 3 年間は、本学が『地域先行拠点大学』に、同時に高知大学教育学部が新たに『地域拠点大学』に選定されたことにより連係して活動を発展させてきた。

エネルギー教育は平成 15 年 10 月に閣議決定された「エネルギー基本計画」の中で明確に位置づけられ、平成 20 年度からは全国 5 ブロックにエネルギー教育推進会議を設けた。高知工科大学は高知大学、広島大学、島根大学、倉敷芸術科学大学と協力し中国四国地域のエネルギー教育普及活動を担ってきた。

2.2 エネルギーと地球環境こどもサミット

本学を中心に平成 16 年度以来続けて開催してきた「エネルギーと地球環境こどもサミット」は全国的にも注目され、同様のイベントが他地域や全国規模でも企画されるようになった。こどもサミットは、総合学習の時間などを活用してエネルギー環境教育に取り組んだ学校が、児童生徒の調査、研究成果を発表したいとの要望に応え 2005 年 1 月に本学で第 1 回を開催した(図 1)。当初想定しなかった成果として、多数の保護者が来場し、児童生徒による「エネルギー問題」「環境問題」のプレゼンを主に保護者が聞いて勉強するという場にもできた。学校における運動会や学習発表会と同じように、多数の保護者のビデオカメラが子供たちに向けられた。



図 1. エネルギーと地球環境こどもサミット
(上) 2005 年 1 月 22 日本学で開催、児童のポスター発表、(下) 2007 年 2 月 3 日イオン高知で開催、手前小学生の音楽劇を注視する保護者

2.3 東日本大震災

平成 23 年の東日本大震災と東京電力福島第一発電所の事故はエネルギー教育普及活動に 2 つの大きな変革をもたらした。第 1 にエネルギー教育の重要性が改めて認識されたことである。脱原発や再生可能エネルギーをキーワードに多くの市民がエネルギー問題に関心を持つようになり、情報開示も一部進み始めた。しかし一方であふれる情報から正しい情報を取捨選択し正確に理解する能力を身に付けるための教育が置き去りになったままである。第 2 の変革は、これまでの取組みの一部が「原発推進活動」との誤解や批判を受けたことから従来主体的に関わってきた団体などが退き、活動母体となる組織が崩壊してしまったことである。

これまでの活動の一部は資源エネルギー庁からの委託事業であり、平成 22 年 6 月に策定されたエ

エネルギー基本計画でもエネルギー教育が明確に位置づけられていたが、福島事故によりエネルギー基本計画は白紙撤回されたまま現在に至っている。その重要性がますます高まったにも関わらず、エネルギー政策の一貫としてのエネルギー教育は公的な位置づけを失ったままである。

2.4 学会の創設

従来のエネルギー教育組織に代わる活動主体として筆者らは平成17年9月に日本エネルギー環境教育学会を設立した。資源エネルギー庁の委託を受けた財団による活動から、より独立性が高く、公正で中立の立場で活動する組織を構築した。名称に「環境」を包含することでエネルギー教育＝エネルギー政策＝原子力普及という誤解を招きかねない偏ったイメージを払拭した。

学会を中心としたカリキュラム開発は文部科学省の科研費課題に採択され（H20～22 基盤(B)「エネルギー環境教育リテラシー育成のカリキュラム開発研究」、代表者：長洲 南海男）、また新しい学習指導要領ではエネルギー教育がとり上げられたことから、大学等におけるエネルギー環境教育の研究と学校現場の実践が有機的に結びついた新しい学術組織として活動を展開している。学会では大学教員と学校教員を中心とした活動に加え、エネルギー関連企業や資源エネルギー庁のコミットも拒むことなく、広く社会が共有すべき問題を捉えて共有し、教育による課題解決を模索している。平成19年には本学において第2回全国大会を開催した。

2.5 地域教育活動の今後の展開

平成14年に設立した高知工科大学エネルギー科学教育研究会は、現在は定常的な活動予算がなく定期的研究活動は停止しているが、本会に参画したメンバー、特に学校教員のメンバーはその後も継続的に学校でのエネルギー環境教育に取り組んで成果をあげている。香美市立舟入小学校は平成18年度に始まった第1回エネルギー教育賞の優秀校となり、香南市立野市小学校は平成20年度第3回エネルギー教育賞の全国最優秀校に選ばれた。

研究会の活動が活発に、かつ現在も継続している成因は、当初メンバーの選任にあった。問題意識が高くかつ自ら行動する教員が多数、研究会に参加し、学校や教育委員会に働きかけて活動を推進してきた。現在も教員間のネットワークにより、エネルギー環境教育に関する研修やイベントの開催では協

力体制が機能している。エネルギー環境教育をさらに地域へ普及するには、大学が中心となって志の高い教員を支援していく研究会活動が必要と考える。

3. エネルギー環境教育の構成要素

エネルギーと環境の問題を正しく認識するための教育は図2に示す5つの要素、すなわち①エネルギー概念、②エネルギーの恩恵、③エネルギー消費の環境影響、④エネルギー資源、⑤行動実践から構成される。このうち②～④は学校教育の各教科の中で様々な観点から個々に取り上げられている内容であり、教科内容に分散している。これらの内容を関連付けて系統的に取り組むことでエネルギー教育と教科教育との相乗効果が期待できる。

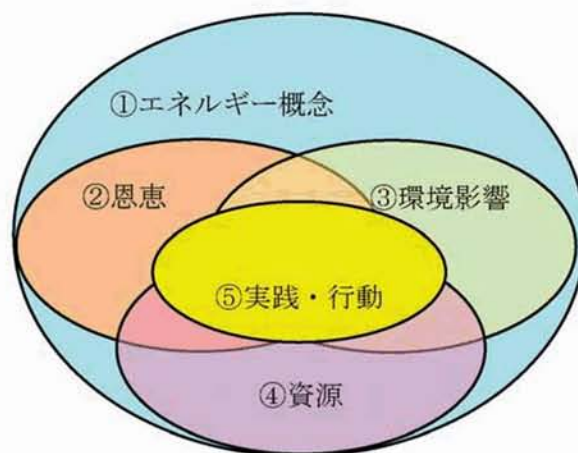


図2. エネルギー環境教育の要素

②のエネルギーの恩恵とは、我々の快適な生活がエネルギー消費によって支えられていることの認識であり、人類が火を使う動物へと進化した歴史にまで遡る。③の、環境への影響は、化石燃料を中心としたエネルギーの大量消費が地球温暖化などの環境問題を引き起こしてきたことの認識である。地球温暖化はワットの蒸気機関に始まる産業革命に端を発している。④のエネルギー資源とは、資源の枯渇や安定確保の問題である。人類の歴史のスケールで考えれば化石燃料やウラン鉱石などエネルギー資源の枯渇はもはや目前に迫っている。また資源の乏しいわが国では特に、太平洋戦争やオイルショックで経験したごとく、安定な資源確保が常に重要で深刻な課題である。

学校現場でエネルギー教育の話をする、その意義は納得しつつも学校には「人権教育」「環境教育」「情報教育」「食育」「キャリア教育」とすでに山積した課題があるという意見も聞かれる。これに対し

てエネルギー科学教育研究会の活動の中で、高知大学教育学部の岡谷英明氏は図3のような説明を行った。「人権」「環境」も、「エネルギー教育」も、新しい科目ではなく、これらの要素となるコンテンツは各教科の中に存在している。教科の内容が関連性をもって伝えられないために、教科を勉強するための勉強になって、学校の勉強が生きる力を育むことに直結しないという誤解を生んできた。図3のように教科の内容が積み上げの縦糸とすれば、教科内容を有機的につなぐ横糸が「エネルギー」であり、「人権」「平和」「環境」などである。縦糸横糸がしっかり紡がれることで学校教育が生きた力を生む。教科書を中心とした教科の勉強にリアリティーをもたせることができる。

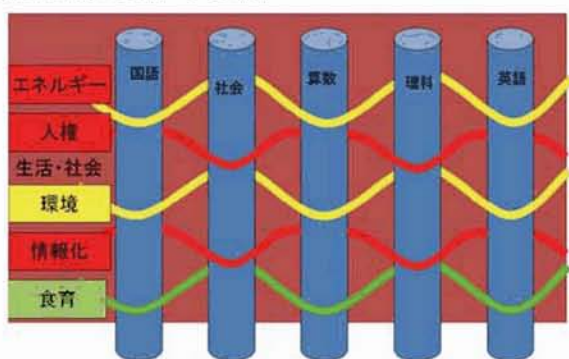


図3. 縦糸横糸モデル

エネルギー環境教育における図2の②～④の知識を理解するためには、ベースとなる①エネルギー概念の理解が最も重要である。しかし、そもそもエネルギーとは何か、学校教員を含め多くの市民は理解していない。「energy」の訳が「エネルギー」ということは、本来日本語に「energy」に相当する言葉がないことを意味する。言葉がないということは日本人が「energy」に相当する概念を持って来なかったためであり、その本質的で正確な理解が困難であることは当然と言える。あえて訳語を探すなら「元氣」とか「活動の源」というような言葉が適切と考える。さらに概念形成には定性的だけでなく実感の伴う定量的な把握が必要である。

エネルギー環境教育における⑤実践・行動は、今我々自身が直面しているエネルギー問題に対して、教える側が自分の問題として如何に対処しているのか、行動しているのか、自分自身の生きざまを見せる必要があることを意味する。実践の伴わない省エネルギー講演は心に響かない。マイカー利用によるエネルギー浪費を訴えるには率先して公共交通を利用しなければならない。

実践・行動なくしてエネルギー環境教育は成功しない。実践・行動において、無理して、痩せ我慢して省エネを頑張る姿は美しくなく、次世代の心を惹きつけることができない。これから人類が向かう持続可能な社会は、辛いやせ我慢の世界ではなく、自然環境と共生する美しい社会でなければならない。しっかりした価値観に基づいて、信念をもって、颯爽と振る舞うような省エネルギー行動、省資源のパフォーマンスが重要と考える。

4. エネルギー概念の形成

4.1 理科教育におけるエネルギーの扱い

物理学を勉強し、エネルギーが最も本質的な物理量であるという考えに至るまでの行程は極めて遠い。図4のように静的な力のつりあいから力を理解し、力を空間積分して仕事（エネルギー）を定義する。ところが力×距離が仕事であるという定義は実感（リアリティ）が乏しく、多くの生徒が苦勞し、また多くの生徒が挫折して物理を投げ出してしまふ一因である。仕事（エネルギー）の概念形成をクリアしなければその時間微分で定義するパワー（仕事率）には到達できない。

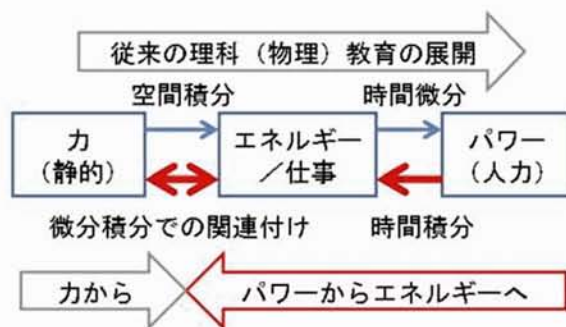


図4. パワーからエネルギーへの展開

パワーを表現する日本語として物理的な定義に基づく「仕事率」以外に、「馬力」と「ワット数」という2つの言葉が普及している。これらはパワーの単位を呼んでいるに過ぎないが、仕事率と呼ぶ代りに広く一般に通用している。

筆者はエネルギー概念の形成はパワーから始めればよいと考える。パワーを時間積分すれば仕事（エネルギー）であり、パワーをある時間にわたって継続して出すことが仕事、すなわちエネルギーであるという定義は直感的にわかりやすい。

図4には、従来の理科教育（物理）における展開である、静的な力のつりあいから力の空間積分で仕事（エネルギー）を定義し、エネルギーの時間微分

でパワーを定義するという概念形成の流れが上に矢印で示してある。この流れは一方通行で積み上げのカリキュラムとなっているため、途中で挫折すればエネルギーやパワーに到達しない。これに対して、パワーを直接知覚するという前提で、下の矢印のようにパワーの時間積分としてのエネルギーを理解し、一方で静的な力の空間積分からも仕事へアプローチすると、時間と空間での微分積分の関係を把握し双方向の展開によってより強固に概念形成することができる。

4.2 エネルギーの知覚

エネルギーを物質量に置き換え、原油換算して東京ドーム何杯分などと例えることができる。しかし普段の生活で原油をみることもなければ、東京ドームで水を汲むこともない。確かに日本で消費するエネルギーを、リアリティをもって捉えるには、実際に日本で消費する石油（原油）、石炭、天然ガスの物質量を目にすることはインパクトが大きい。たとえば 2010 年のデータ（エネルギー白書 2012⁴⁾）では、一次エネルギーとしての原油は年間 8,143PJ であり容積で 2 億 1,000 万キロリットル、重量で 1 億 8,000 万トンであるから、世界最大級の幅 60m、長さ 300m 以上の巨大な石油タンカーに 31 万トン積載したとして年間約 600 杯を輸入している。しかし巨大なタンカーを、巨大と捉えることはできても定量性は期待できない。

筆者らはエネルギーの時間微分であるパワーを実感することで、エネルギーを定量的に理解することが可能と考えてきた。パワー(power)は物理でいう仕事率で、それ自身が難しいように感じられるが、難しさの背景は前述の理科教育の進め方にあった。前述のようにエネルギーの訳語は存在しないが、パワーを正しく捉えた日本語の訳語「ワット数」は仕事率という専門用語よりも広く用いられている。エンジンの出力は「馬力」から kW に変わってしまい、「馬力がある」という表現を聞く機会は少なくなったが、一方、省エネルギーの意識が高くなってきたために電気製品を購入する際には多くの人が「ワット数」を常々気にするようになった。

ワット数は物理で難しく定義しなくても人間が直接に知覚できる物理量であるということが重要な視点である。筆者らは「人力（ジンリキ）」すなわち人間のパワー（チカラではなくパワー）を、エネルギーを計るための「ものさし」として使うことを提案してきた。

4.3 人間のワット数

人間が一日に摂取する食事の熱量は 2000kcal 程度であり、これを 24 時間に均すと約 100W の熱出力に相当する。実際に空調を設計する場合には人間一人あたり 100W の熱源があるとしてエアコン等の容量を見積る。

図 5 のように、人間が生体活動を維持するには体温から放射する熱が最低限必要で、基礎代謝と呼ばれる約 60W がこれに相当し、残りの 40W 程度が仕事として利用できる。奇しくも一般的な火力発電所などと同じような変換効率をもつ熱機関のようである。睡眠中は基礎代謝分の 60W の熱のみを放出するとすれば、活動している間は 40W をいくらか越えて出力することが可能となる。仮に 8 時間の睡眠時間中の 40W 分を他の 16 時間で使うとすれば活動中の出力は 60W 程度と期待される。

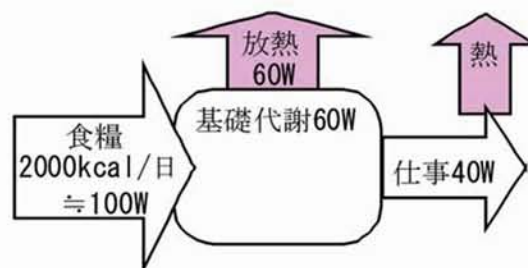


図 5. 人間の効率

4.4 自転車型人力発電機の開発

パワーを測るなら電力（電圧×電流）が簡単であることから教材としての人力発電機を開発してきた。開発当初、インターネットで検索してみると自動車のオルタネータ（発電機とエンジン始動用モーターを兼ねたもの）を自転車で回す例がいくつか見つかった。オルタネータを用いたのは、廃車の部品として廉価で入手可能な発電機であるからであろう。真似して試作したところ瞬発力で高々数 10W にしかならず、これを 30 秒も持続することは困難であった。

人力発電を用いて行う教育の意義は、エネルギーを計る「ものさし」を与え、エネルギーについて定量的に理解することである。単に 1 人力 100W と定義するだけではなく 100W の発電をリアルにかつ正確に身体で感じる事が重要である。発電機のシステムの問題で効率の悪い人力発電を体験させると 100W を正しく認識することができず、狂ったものさしを提供することになる教材として不適切

である。効率がよく、人力が 100% 近く電力に変換できることが求められる。人力の本来の実力を引き出す高効率な人力発電実現の鍵は、コギングトルクのないコアレス（鉄芯を用いない）発電機を用いること、及び負荷を適切に制御することであった。

自動車のオルタネータを含む一般的な発電機は磁力を高めるため巻き線コイルの中心に鉄芯（コア）を用いる。発電していないときも鉄芯と磁極が引き合っているため、回し始めるためには大きな力が必要である。この力をコギングトルクと呼ぶ。コギングトルクによって回し始めが非常に重く、自動車のオルタネータの場合は最低でも 600～1,000rpm 程度、走行時は数 1,000rpm の回転で自動車用バッテリーの 12V を出力するように設計されている。したがって自動車のエンジン並に回転数を高くしないと十分な電圧が得られない。

高知県内の企業（スカイ電子、四万十町）が小型風力発電用コアレス発電機を開発している。小型風車が低風速低トルクでも回るようにという工夫であるが、これは人力発電にも好都合で、さらに多極型であるため低回転でも出力電圧が比較的高いというメリットをもつ。図 6 は平成 16 年に開発した、コアレス発電機（SKY-R250、旧型機種）を用いた最初的人力発電機を示す。コアレス発電機を用いることで人力発電の性能は画期的に向上し、数 100W の出力が容易に得られるようになった。



図 6. コアレス発電機を用いた人力発電機

図 6 の発電機は後輪のタイヤをはずしベルトで発電機を回す、発電専用機であった。高効率、高出力の人力発電が様々なところで話題になり、購入希望が多数寄せられたため、発電機のメーカーであるスカイ電子で汎用の市販機を開発した。汎用機の開発では、図 7 のように、通常乗っている自転車をそ

のまま載せるだけで発電できる構造とした。

図 7 に示すような装置は、自転車や自転車部品のメーカーが自転車競技者用の室内トレーナーとして市販している。スカイ電子では人力に適した小型サイズの発電機（SKY-HR125）を新規に開発し、市販の自転車トレーナーの負荷部分を発電機に取り替えて「エネトレ」の名称で、後述の専用インバーター回路や電球点灯制御回路とともに、エネルギー環境教育に取り組んでいる多くの学校や NPO 等に納入した。あくまでも教育教材であるが、いざとなれば、短時間であれば 100W 程度が出力できる非常用電源にもなる。また平成 23、24 年度のキャンパスイルミネーションでは、一部を人力で点灯するイベントに活用された。



図 7. 自転車トレーナーを改造した人力発電機

4.5 人力発電に最適な負荷

自転車をこぐ速さ、すなわち発電機の回転数（速度）によって発電機の起電力（電圧）が決まる。回転数を上げていくと電圧が発生しても、負荷がなく電流が流れなければ電力は発生しないためペダルは軽い。負荷を電流を流しやすい低抵抗にすると電流が流れることによってトルクが発生しペダルは重くなる。すなわち負荷に流れる電流がトルクを決める。

自転車のギア比にも依存するが、負荷抵抗が大きいと電流が小さくペダルは軽い、ペダルを回す速さには限界があり、電流値が小さいためにパワー（出力のワット数）は大きくならない。逆に負荷抵抗が小さいと電流が多く流れ、トルクが大きいためペダルが重く速く回すことができない。また電流が大きいと発電機の内部抵抗による損失が大きく発電効率が低下する。人力発電で最大出力を出すに

は人力に適した負荷抵抗を与える必要がある。人力には個人差があり、適切な定電流に制御してトルクを一定にする工夫によって効率のよい人力発電が可能となった。

人力発電の負荷としては白熱電球が廉価で適切な容量があり発光でパワーを認識できる点が良い。トルクが安定してこぎやすいように電流をほぼ一定に維持して負荷を調整するため、複数の電球をスイッチで切り替えて用いる。図 8(a)のように 8 個の同じ白熱電球を直列に接続し、始めは 7 個をスイッチで短絡、電流をバイパスさせておき、回転数が上って電圧が高くなるのを検知して、スイッチを一つずつ開いて、電球の直列数を増加させる制御回路を作製した。直列数を増やすことで個々の電圧が定格の 100V を越えないようにする。

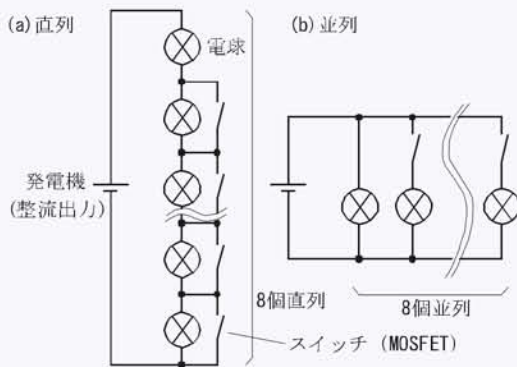


図 8. 電球負荷の(a)直列接続と(b)並列接続

簡単のため 100Ω の抵抗 (100W 電球相当) で考えると、図 9(a)のように回転速度が上って電圧が高くなった場合、電球の点灯数が増えることで電流とトルクは大きく変化しない。直列電球が増える切り替え時は、若干電流が下がり、トルクが小さくなるので、同じ回転数を維持している状態ではより回しやすくなる。出力 (ワット数) はほぼ回転速度 (電圧) に比例して増加する。

図 8(b)のように並列で接続し電流が増加するのを検知してスイッチを閉じ、点灯数を増やすことも可能である。個々の電球の電流が 1A を越えないように並列数を増やす。並列では図 9(b)のように、点灯数が増える切り替え時に、回転速度を維持していると急激にトルクが上ってしまう。

直列ではスイッチ切り替えで少し軽くなって回しやすくなるのに対し、並列では急激にペダルが重くなり、脚に衝撃を受ける。また市販している「エネトレ」は発電機が小型で細い導線を用いているた

め内部抵抗が大きく、大電流を流すと発電機内での損失が大きくなる。これらのことから、人力発電実験の負荷は並列よりも直列制御が優れている。

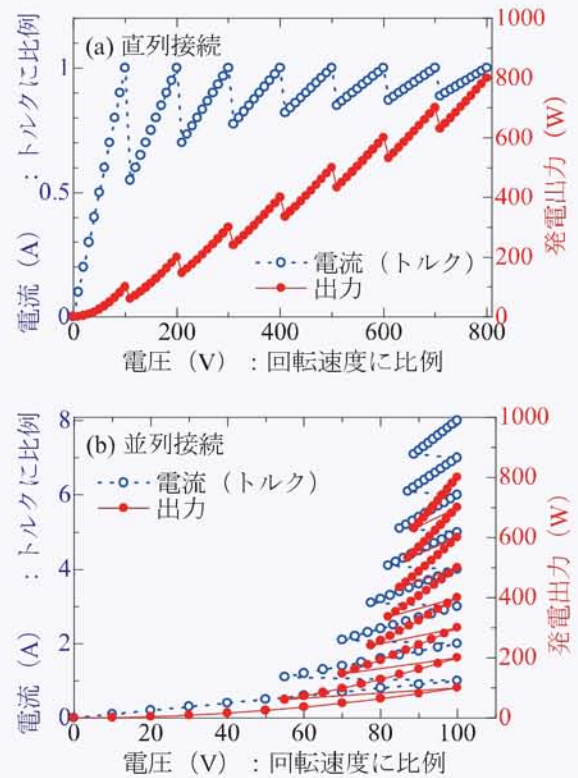


図 9. (a)直列接続と(b)並列接続のトルクと出力

4.6 電力測定

電球点灯制御回路で、小学生では 40W を 8 個、中高生や大人の場合は 60W ないしは 100W の電球を 8 個用いる。始めは 1 個だけが点灯し、発電出力が増加して電球の定格を越えようとする次の電球が点灯するので、特別な計測をしなくても点灯数でおよその出力を認識できるが、教材としては正確な電力測定も必要である。正確な電力は電圧計と電流計を用いて電圧・電流を測定し、積を計算すればよい。人力発電では電流、電圧が変動するため、それぞれ瞬時に読み取って掛算する必要がある。そこでデジタルマルチメーター (デジタルのテスター、SANWA 製 PC-20) を用いて電圧、電流をそれぞれ測定し、パソコンにデータを取り込んで計算、表示するソフトを作成、本学ホームページで公開した。

図 10 は計測ソフトの表示画面である。計測時間を設定してスタートすると 1 秒毎に電圧、電流を読み込み積を計算して瞬時のワット数を表示する。ワット数の時間変化をグラフに表示し、計測時間が終了すると平均電力を算出する。



図 10. 電力測定ソフト表示画面

4.7 一人力 100W

これまでの実測で、スポーツをする成人男性なら瞬発力で 300~500W を 10 秒程度、女性や小学生でも 100W 程度なら 30 秒程度は持続可能である。図 11 に本学の男子学生 5 名が 30 秒間の発電実験をした測定例を示す。測定開始後、自転車をこぎはじめると数秒で出力が増加、ピークに達してから 10 秒程度は大きな出力を維持できる。これは無酸素運動の瞬発力によるもので、陸上競技の 100m 走と似ている。その後出力は急激に低下する。

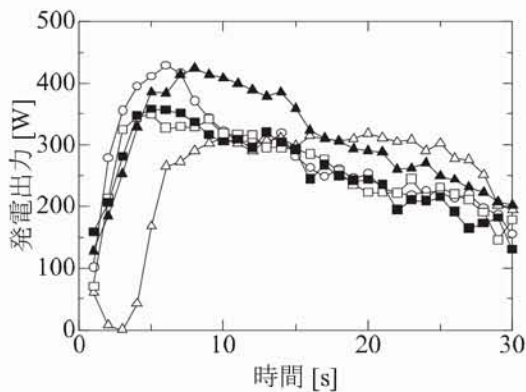


図 11. 学生の発電出力測定例

卒業研究として意欲的に開発に従った学生、溝渕佑介君は小型テレビと DVD プレーヤーの計 50W を一人で 1 時間連続で点けて、自分の力だけで映画を鑑賞した⁵⁾。ところがテレビを少し大型の 70W にしてみると 20 分ほどでギブアップしてしまった。持久力の限界は微妙なところにあつて、初めは続けられそうであっても実際に続けてみると困難な場合がある。持久走では初めから飛ばしすぎない、ペース配分が重要であることと一致する。

人力は個人差や環境、特に持続可能な時間によって大きく異なり、実測値から人力を定義することは困難である。そこで、わかりやすい数値として平均的な食糧摂取カロリーである 100W を 1 人力 (じんりき) と定義することにした。大人でも 100W を長時間持続することは難しいが、一方小学生でも 30 秒程度であれば発電可能であり、体感的に 1 人力 100W を知覚することができる。

ジェームスワットが蒸気機関を売るために用いた「馬力」という単位 (約 750W) が使われなくなった代わりに、「人力」を使ってパワーを見る。実際に 100W の発電を体験した後は、1 人力 100W = 0.1kW を単位にすると、これまであまり意味の分らなかった発電出力の値、W や kW の意味が実感をもって理解できるようになる。

例えば家庭用太陽光発電は昼間のピーク時で 30~40 人力が得られる。ローター直径 60m の大型風車では 1,000kW の発電機を回しており、人力なら 1 万人力に相当する。現在日本の発電の大部分を占めている火力や、ほとんどが停止中の原子力は 1 基で 100 万 kW 程度の発電機を回しており、人力なら 1 千万人力である。

日本は省エネルギー技術のパイオニアでありエネルギー浪費国ではない。先進諸国や新興国の中では、エネルギー消費を良く抑制している模範的な国である。それでも日本が消費する年間総一次エネルギーを時間で均して人口で割ると、日本人一人当たりが定常的に消費しているエネルギー (パワー) は約 60 人力にも相当する大きな値である。

5. 人力発電とエネルギー環境教育

開発した高効率人力発電機と電球点灯制御回路、および直流電力測定ソフト等は様々なエネルギー環境教育の団体が教育に広く活用している。開発した我々自身も学校への出前授業やイベントへの出展を積極的に行っている。

人力発電を用いたエネルギー教育とは、原子力や火力に頼らず人力で何でもできるとか、人力発電がエコであるとかアピールする意図ではない。前述のように人力発電は火力発電と同程度のエネルギー変換効率であり二酸化炭素を排出してしまう。ただし一次エネルギーである食糧はバイオマスであると捉えることができるので再生可能なエネルギーの範疇ではある。

授業では最初に一人ずつ人力発電を体験して 100W のパワーを体感する。頑張ってくぐと出力が

大きくなるので、子供たちは競って記録を出そうとする。通常 20～30 秒の計測を行うが、最初の 10 秒で頑張りがすぎると後半急激に出力が低下し、平均では記録が伸びない。自転車発電の出力は体育で経験する運動能力とは必ずしも一致せず、意外な友達が記録を出すなどで教室は大きく盛り上がる。

「ものさし」として 1 人力 100W を体感した後、教室の照明やテレビ、パソコンなど身の回りの電気製品でワット数を確認する。学生が卒業研究で開発した人力発電用インバーター回路を用いて実際にテレビや蛍光灯などの家電製品を人力で点けてワット数を実感することもできる。

さらにスライドなどを用いて様々な電気製品や自動車などのワット数や、その電力を供給する発電所の容量などを定量的に解説し、地球温暖化など環境への影響を一緒に考える。

小学生対象には、主にシステム工学群八田古田研の学生ボランティアが出前授業や、学内での体験授業を担当している (図 12)。特に卒業研究でパワーエレクトロニクスに関連するテーマを選択した学生は、電力変換回路としての自転車発電用インバーター製作や、新たな実験用電力変換回路試作に取り組む。そして自分が作製した回路を出前授業で実演することで、勉強や研究へのモチベーションを高めることができる。またエネルギーと地球環境について小学生に対して講義することで、自分自身の理解を深めることができる。その他、エネルギーや環境技術の展示会、イベントなどでも出展依頼が多く、学生を中心としたスタッフで対応している。

2008 年 6 月には NHK の特別番組 Save the Future で取り上げられ、2 日間にわたり NHK ホール前で実演を行った。多数の市民に加え芸能人やオリンピックに出場した自転車競技選手が本学発の人力発電を体験したことは感慨深い出来事であった。



図 12. 学生によるエネルギー教育出前授業

6. おわりに

東日本大震災と福島発電所の事故によりオイルショック以来のエネルギー危機を経験した。エネルギー問題の解決に向けてすべての市民が問題の本質を理解し、積極的に行動して解決に参画すべきである。民主主義の本質は情報の共有と合意形成であり、多数決は合意形成に失敗した後の、最後に残された最悪の手段と考える。合意形成の努力を怠った多数決、形だけの民主主義は衆愚政治やその結果として独裁者を生む危険性がある。

専制政治は一人の賢者を育てるだけで良いが、民主主義ではすべての市民を賢者に育てることが必要である。情報共有には情報の開示、提供だけではなく情報を理解するための教育が欠かせない。民主的に賢明な未来を選択する鍵は教育にあると確信し、教育に携わる一人、あるいは一人の大人として、次世代に対して大きな責任を感じながらエネルギー環境教育に取り組んでいる。

過剰な環境負荷をもたらさないよう、生活による環境影響をスマートに抑えつつ、心を豊かに楽しく生きる、人類の新しいライフスタイルを創造し、実践し行動して見せることで、次世代に強い共感を呼び起こしたいと思う。

謝辞

人力発電機や教材の開発、電力測定ソフトの作成、小学校への出前教室など、多くの学生に協力を頂いた。またエネルギー科学教育研究会メンバーを中心とする多くの学校教員、企業や NPO の方々にご協力いただいたことに謝意を表す。

文献

- 1) 内閣官房ホームページ (URL = <http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokuren/keikaku.pdf>)
- 2) 文部科学省ホームページ、現行学習指導要領 (URL = http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/index.htm)
- 3) 文部科学省ホームページ、日本ユネスコ国内委員会 / 持続発展教育 (URL = <http://www.mext.go.jp/unesco/004/004.htm>)
- 4) エネルギー白書 2012 (URL = <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/>)
- 5) 卒業研究報告「人力発電機用降圧スイッチング回路の作製」(URL = <http://www.kochi-tech.ac.jp/library/ron/2008/2008ele/1070336.pdf>)

Development of Man Power Electric Generator Using Bicycle for Application to Energy and Environmental Education

Akimitsu Hatta*

(Received: May 7th, 2013)

School of Systems Engineering, Kochi University of Technology
(Research Group for Energy and Science Education, KUT)
185 Tosayamadacho-Miyanokuchi, Kami, Kochi, 782-8502, JAPAN

* E-mail: energy@kochi-tech.ac.jp / hatta.akimitsu@kochi-tech.ac.jp

Abstract: ESD (Education for Sustainable Development) has been received much attention to realize the sustainable development of mankind. ESD targets not only to accumulate related knowledge but also to bring up sense of values conducting action and decision making, and includes energy and environmental education as one of key issues. In 2002, the research group for energy and science education was established in KUT to encourage energy and environmental education in local schools. The group pioneered energy education in schools by promoting "children's summit conference on energy and environment" and by developing the man power electric generator as an experimental teaching tool. The author committed to establish "Japan Association for Energy and Environment Education". After the Fukushima disaster, when the energy education has been strongly required, they restarted energy education from the neutral standpoint with avoiding sentimental opposition for atomic power induced by the Fukushima disaster. The energy and environmental education consists of 5 components as instruction of fundamental energy concept, benefits of energy, environmental effects by energy consumption, energy resources, and practical activities. For the instruction of energy concept, as the most difficult content, the approach using the man power electric generator is effective. Practical activities to solve the energy and environmental issues have been requested to do by ourselves. I hope we can perform novel life styles with small adverse environmental impacts, we can intentionally show any solution to the next generation, and we can successfully induce their sympathy.