

エネルギー生成・変換・備蓄をテーマとした教材開発及び実践 —充電電池とコンデンサーの活用：手力ためる君とコンデンカー—

重松 宏武^{*・**}・内田由美子^{*}・吉岡 真志^{*}・佐々木英樹^{*}・野村 啓介^{**}・
谷口 将人^{**}・森山 充^{**}・野々村佳代^{**}・高田 慧^{**}・西山 桂^{***}

Hirotake SHIGEMATSU, Yumiko UCHITA, Masashi YOSHIOKA, Hideki SASAKI,
Keisuke NOMURA, Yukito TANIGUCHI, Mitsuru MORIYAMA, Kayo NONOMURA,
Kei TAKATA and Katsura NISHIYAMA

Development of Teaching Materials and Their Practical Applications
on the Subject of Energy Generation, Conversion and Production.

—Utilization of Rechargeable Battery and Capacitor: “TEJIKARATAMERU-KUN” and “KONDENKA”—

要 約

教育現場におけるエネルギー環境教育の必要性が叫ばれる現在において、エネルギー環境教育を指導するための補助教材の開発は重要な課題の1つである。我々は「エネルギーの生成・変換・備蓄」に着目し、エネルギーを備蓄（充電）する方法として充電電池またはコンデンサーを活用した教材（『手力ためる君』と『コンデンカー』）を製作し、さまざまな実践を行ってきた。本論文においてはこれら教材の特性並びに実践について報告を行う。なお、本論文は島根大学教育学部附属教育支援センター研究紀要（島根大学教育臨床総合研究 2010 Vol. 09, p. 123-139.）で示した教材に関する定量的内容を追補したものである。

【キーワード：エネルギー環境教育、エネルギー生成・変換・備蓄、理科教材開発、充電電池、コンデンサー】

1 はじめに

私達は日頃から電化製品の恩恵を受けている。その電化製品を支える電気エネルギーについて、中学校では1分野（上）の「単元3 電流とその利用」の章「電磁誘導と発電」の内容として発電（電磁誘導）が、また第1分野（下）の「単元5 運動とエネルギー」の章「力学的エネルギーの保存」の内容としてエネルギーの移り変わり、「単元7 科学技術と人間」の章「エネルギー資源」の内容として水力・火力・原子力といった代表的な発電の仕組み等が示されている。しかしながら、エネルギーの移り変わり等は目で見て確認することはできない現象であるにも関わらず、説明的な授業で終わってしまいがちであるように思われる。そこで、我々は「エネルギーの生成・変換・備蓄」をテーマとした教材を開発・製作し、これらを用いて、より生徒の理解を深める事を目的とし、平成14年以降、数多くの教材開発並びに実践を行ってきた^{1, 2)}。特に、従来の指導要領には示されていなかった「エネルギーの備蓄（電気の充電）」に着目し、手回し発電機と充電電池を組み合わせた『手力ためる君』並びにこの『手力ためる君回路理解用教材』（平成17年）を開発し、小中高等学校を対象にエネルギー教育をテーマとした出前講義や科学教室を数多く行ってきた^{2, 3)}。

その後、平成20年に改訂、平成23年に完全実施される小学校新学習指導要領に「エネルギーの生成・変換・備蓄」を体感する文言が加えられたこと、また電気を蓄え

るものの例としてコンデンサーが挙げられていたことから新たに手回し発電機とコンデンサーを用いた教材『コンデンカー』（平成20年）を開発した^{2, 4)}。電池が着脱可能な『手力ためる君』に対し、コンデンサー型の教材はコンデンサー着脱機構作製の労力を考慮し、着脱不要の動力部一体型とした。これら教材は小学校のみでなく中学校、高等学校とも学習段階に合わせた利用が可能であると考えている。

本論文では、エネルギーの生成・変換・備蓄をテーマとした教材開発及び実践報告として充電電池を用いた備蓄（充電）を行う教材である『手力ためる君』、コンデンサーを用いた備蓄（充電）を行う教材として『コンデンカー』に関して行う。なお、ここで紹介する教材は校種・学年を限定した使用を前提とはしていない。小中高等学校において理科は反復学習の繰り返しであり、校種・学年が上がるに従って定性的説明・理解から定量的説明・理解へ変わっただけである。ゆえに、同じ教材を異なる年齢の児童・生徒への活用は十分可能であり、教材の継続的な活用はより深い理解へとつながると考える。では具体的には？ それはぜひとも現場を良く知る小中高等学校の教師の腕の見せどころであり、ぜひ委ねたい。

なお、ここで紹介する教材は安全を考慮した構成を心掛けて作製しているが、それを保障したものでは無い。その旨、ご理解のうえでご活用頂きたい。

* 山口大学教育学部理科教育講座

** 前島根大学教育学部自然環境教育講座

*** 島根大学教育学部自然環境教育講座

2 教材開発 I 『手力ためる君』

近年、環境への配慮から一般的なアルカリ電池やマンガ電池に変わる充電電池の使用が推奨され、生活の中でも身近な商品の一つといえる。この充電電池を活用したエネルギー変換を理解するための小学生を対象とした定性的理解のための『手力ためる君』(図1(左図))および、中高校生にその仕組みや原理をわかりやすく定量的理解をするための基板キット『手力ためる君回路理解用教材』(図1(右図))を製作した。前者はハードケースに入れ、回路をブラックボックスにしているが、耐久性にすぐれ、落としても破損することはない。追加機能としては電流計と電圧計を容易に接続が可能であり、発展的学習にも対応している。一方、後者は3つの基板に分かれており、回路理解を始め、指導者の発想により如何様にも物理量の定量化理解につながる利点がある。これら教材は市販品である「手回し発電機」、「NiCd充電電池」等と合わせて用いる事で、エネルギーの生成・変換・蓄積を行なう事ができる。特に充電電池にエネルギーを備蓄(電気を充電)することによって、その貯めたエネルギー(電気)をさまざまな市販品で利用できるというメリットもある。

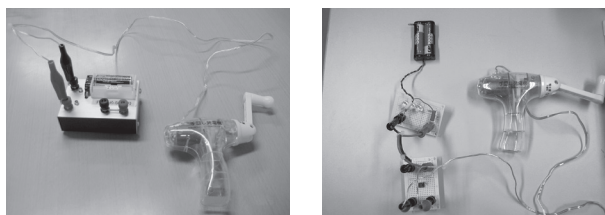


図1 「手力ためる君」(左図)とその基板キット(右図)の概観図。右図においては「整流部」、「電流方向指示部」、「充電部」の3つのパーツで構成されている。

従来、小中高等学校の教育現場において、活用される手回し発電機は10V以上の直流電圧を発電できるものが基本であった。しかし、新学習指導要領で示されたコンデンサー・LED利用に合わせて低電圧の3V発電のものや出力制御可能なものが登場した。物品の破損や余剰な廃熱の発生を防ぐためには有効だが、より大きな発電量を生成することにより、発電に必要な負荷を体感させるためにもここではあえて従来タイプのもの(ケニス株式会社、手回し発電機KC)を用いた。

2.1 回路及び原理

回路としては簡単な仕組みであり、手回し発電機によって発電された直流電流の流れる方向を確認するための「LED」、整流及び逆流防止のための「整流子」(ブリッジダイオード)によって構成されている(図2)。ここで、端子A, Bには直流電圧計、端子C, Dには直流電流計(この場合、CD間のもともとの配線は外す)が配線できるような構成となっている。また、『手力ためる君回

路理解用教材』は『手力ためる君』内のパーツ(充電電池、LED、ブリッジダイオード)を個別に構成したものであり、内部構造が一目瞭然であると共に、整流子の有無による違い(整流子の必要性)を示す事ができる。なお、ここで言うパーツからなる基板としては、ブリッジダイオードからなる電流の逆流防止及び整流を行うための「整流部」、LEDと抵抗からなる電流の向きを示すための「電流方向指示部」、そして、電気を蓄えるための充電電池からなる「充電部」の3種類がある(図1(右図))。なお、全体としての構成及び機能は『手力ためる君』と同じのため、本論文において、『手力ためる君回路理解用教材』の詳細な回路・原理・性能に関する説明は割愛する。

「エネルギー生成・変換・備蓄」をテーマとした本教材はそもそも「自転車発電」を出発点としている。持ち運びの利便性、演示用ではなくグループごとに体験してもらう教材とすること等を考慮し、小型・簡易量産化することで現在の形に至っている。本教材を用いる事で生徒の学習意欲を高め、エネルギーについてのより深い理解を望めると考える。

なお、ここではあえて、一般的なダイオードではなく、ブリッジダイオードを用いた。この場合、児童・生徒が手回し発電機の回転方向を間違えても充電電池への充電の極性に変化はなく安全だからである。ただし、直流電流の電気が流れる向きに関する学習、そしてLEDの特性学習のためにも手回し発電機の回転方向は指定するものとした(実際には手回し発電機で発電された直流電流はどちらの向きであろうと充電される構成であるが、LEDは流れる電流が一方方向の時しか点灯しない構造としている:図2参照)。

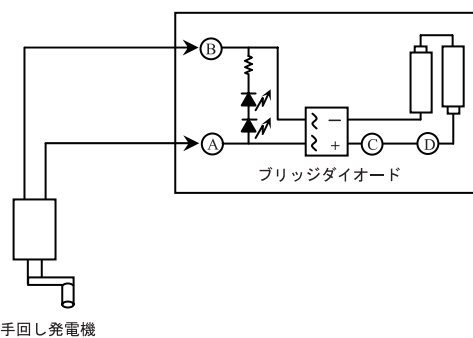


図2 『手力ためる君』の回路の概要図。部品としては、ケースは(株)タカチ電機工業製YM-100、ブリッジダイオードはDIP型vishay社DF04M、LEDはOptoSupply Limited社OSHR5111A、A-Dの端子としてサトームセン株式会社製絶縁ターミナルT-375-12-R及びT-375-12-B、電池BOX(単3、2本用)、抵抗1kΩを用いた。

2.2 性能評価 1 出力一定での充電電池の数との相関

2.1節においては完成品として、充電電池2個の『手力ためる君』を紹介した。しかし、製作段階においては、充電電池の数とその特性についても確認しつつ行い、開発を

行った。以下、その過程を示す。

一般的充電電池の電圧は規格1.2Vと低く、充電時に並列回路に並べた充電電池への充電を行うことは不適切と考えた。そこで、充電電池を直列につなぎ、適切な数を求めるために充電電池の数と回路の性能に関する評価を行った。測定に関する概要図を図3、測定の結果を表1にそれぞれ示す。なお、充電電池にかかる電力をほぼ2Wになるよう手回し発電機の回転速度を調整した。

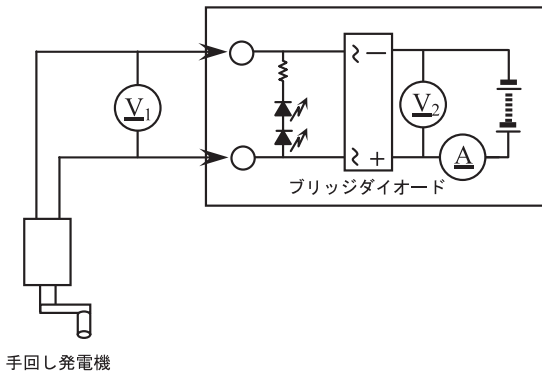


図3 性能評価測定のための概観図。充電電池の数を変え、発電電圧 V_1 (V)、充電電圧 V_2 (V) 及び電流 I (A) を測定した。

表1 充電電池の数の変化に対する性能評価（出力をほぼ統一（2W）した場合の充電）。 V_1 、 V_2 、 I は図3の回路内での電圧または電流の値を示す。

充電電池の数(n)	電圧 V_1 (V)	電圧 V_2 (V)	1個当たりの電圧 V_2/n (V)	電流 I (A)	出力 $V_2 \times I$ (W)
0	10.0(1)	10.8(1)	—	—	—
1	3.65(5)	1.70(5)	1.75	1.15(5)	1.995
2	4.85(5)	3.05(5)	1.525	0.65(5)	1.983
3	6.25(5)	4.45(5)	1.483	0.45(5)	2.003
4	7.42(5)	5.70(5)	1.425	0.35(5)	1.995

出力一定での充電電池の数との相関に関する情報としては①体感として充電電池が少ないほど、回す時に力を必要とする、②充電電池の数を増やしても1個あたりにかかる電圧に大きな変化は無く、電流量に大きく変化を及ぼすことがわかった。また、市販の充電器（GP製急速充電器GPPB02PSEでは2個充電時1.4V-0.9Aもしくは4個充電時1.4V-0.45A、SANYO製一般充電器NC-M38では1.2V-0.32A）と比較すると表1の結果は電池1個では過電圧であることがわかる。以上のことを踏まえ、手回し発電機を使用したときの発電の際の負荷の体感、乾電池1個当たりの充電に関する効率を考えると充電電池2個を用いることが一番適しているという結果を得た。

2.3 性能評価2 充電電池の数一定での回転数（出力）との相関

前の結果を踏まえ、手回しをしている時に充電の労力

を体感して欲しいこと及び安全性から電池は少量の2個を採用した（図3の回路と同等）。そして、手回し発電機の回転数（回/分）を増加させ、充電電池にかかる電圧・電流の変化を測定した。結果を図4に示す。

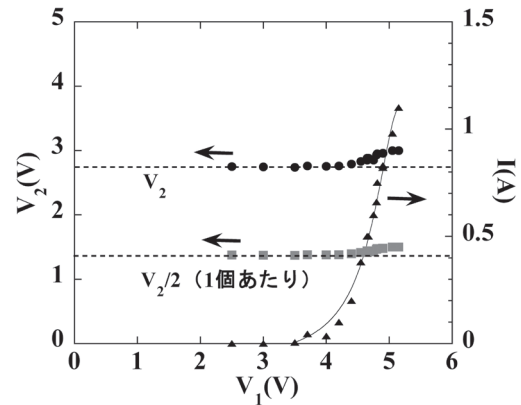


図4 発電電圧 V_1 (V)、充電電圧 V_2 (V) 及び電流 I (A) の関係。手回し発電機の単位時間当たりの回転数を上げるにより発電電圧 V_1 (V) は上昇する。

ここで、手回し発電機の回転数（回転/分）が上がるに従って、電圧 V_1 はより大きな値を持つこととなるが、 V_1 がある一定の値を持たないと電圧 V_2 と電流 I は値を持たない。さらに、発電電圧 V_1 の値が変化しようとも電圧 V_2 はあまり影響を受けず、電流 I に大きな影響を与えることがわかる。このことから、急速充電にはなるものの、可能な限り手回し発電機を早く回転させることが、大きな電流量を充電電池に蓄えられるということがわかる。

2.4 実践の様子

実践においては貯めた電気を株式会社タミヤのメカダービー（電池で動く馬型プラモデル）などを用いて走行距離やスピードを競わせることにより行った（図5）。なお、メカダービーは単3電池1個で走るために、図2で示したように単3電池2個無いと充電できないものでは使い勝手が悪かった。そのため、2個の充電電池の一方をあえて5W1.5Ωのセメント抵抗に変えることによって充電電池1個でも充電可能とした。この場合、手回し発電機で生成した電流量に対して大きくロスが生じているが、安全性を重視し、さらに「エネルギーの生成・変換・備蓄」の現象を理解させるという目的においては十分だと考える。

3 教材開発Ⅱ『コンデンカー』

平成20年に、改訂された小学校学習指導要領に「生成・変換・備蓄」を体感する文言が加えられたこと、また電気を蓄えるものの例としてコンデンサーが挙げられていたことから新たに手回し発電機とコンデンサーを用いた教材『コンデンカー』を開発した。



図5 『手力ためる君』を用いた実践の様子

3.1 回路及び原理

回路の基本的な考え方は充電池のものと同様であるが、用いたコンデンサーの定格電圧が2.5V (10F) と小さいため、充電時には直列、放電時には並列となるよう回路を組んだ(図6、7)。つまり、充電時はコンデンサーの定格電圧の倍の5Vまで耐えることが可能となり、放電時は定格で放電することにより、従来の倍の時間の使用が可能となった。また、コンデンサー型はおもちゃと一体型とした。これにより何にでも取り付けられるメリットはなくなるが、コンデンサーが自然放電しやすいこと、付け替えの手間がかかることなどのデメリットを解消でき、使い易いものとなった。

充電池とコンデンサーではその電圧の時間変化と充電効率に大きな違いが見られる。充電池は長時間一定電圧(約1.2V)を保ち続けるが、コンデンサーは電圧が定格電圧(2.5V)から指数関数的に減少していくためスタート時には電圧2.5Vを発する。このため、従来は1.5V用馬型のおもちゃに充電した電池を載せ、その挙動から変換効率などを学んでいたが、コンデンサーを使用する場合は電圧3V用のミニ四駆を車体として用いることとした。

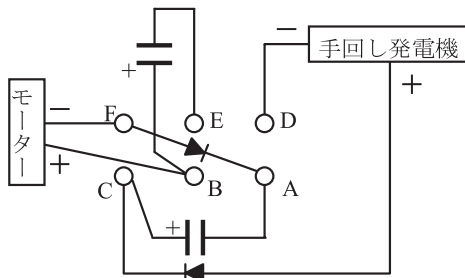


図6 コンデンサーを用いた教材の回路。図中A-Fはスイッチの端子を表し、充電時にはD-E, A-Bが繋がり、放電時にはB-C, E-Fが繋がる。

3.4 実践の様子

実践においては手回し発電機を用いて、コンデンサーに充電を行い、それを走らせて「エネルギーの生成・変換・備蓄」に関する学習を行った。コンデンカーはミニ四駆がベースとなっており、スピードが速いことから、タミヤ製のレール(ミニ四駆 ジャパンカップ ジュニアサーキット)を用いて、競い合わせた。なお、充電池の場合は手回し発電機を用いてフル充電することは不可能であり、充電時にはずっと大きな負荷がかかったままである。しかし、コンデンサーの場合は電気容量は小さく、簡単に許容電荷量は蓄えられることができ、その時

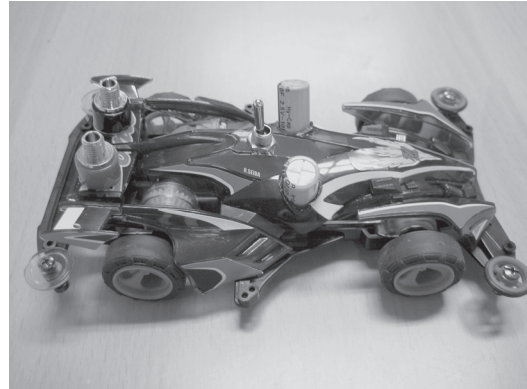


図7 コンデンカーの概観図。市販のミニ四駆をベースにしている。本体中央部にコンデンサー2個とスイッチが、後方に手回し発電機のケーブルとの接続用の端子2個が外部に出ている。

にかかる手回しの負荷は連続的に軽減されていく。このようなコンデンサーの特性を説明しつつ、実践を行った(図8)。なお、コンデンサーを活用した教材で重要な部分は図6に示した回路のみである。よって、この部分を市販のおもちゃ等に組み込めば、いかようにでも広がるものである。



図8 『コンデンカー』を用いた実践の様子。

4 学習場面における教材活用事例案

1章で述べたように、ここで示した教材の活用法は、ぜひ、現場を良く知る教師方によって考えて頂きたい。活用法は校種・学年によって変わり、同じ学年でもその活用法は沢山あると考えるからである。我々も決して、教材を作製したのみではなく、校種・学年を考え内容を変え、時には教職員対象にも実践を行ってきた。本章では、中でも1つの例として『手力ためる君回路理解用教材』を用いた活用事例案を紹介したい。

具体的には中学校理科1分野(下)の「単元7 科学技術と人間」の章「エネルギー資源の利用」での学習の発展的内容とする(表2)。これは中学校1分野で学習する「エネルギー」分野のまとめとしての授業に相当する。

授業においては1分野(上)の内容である電磁誘導を復習した上で、手回し発電機を用いて「モーターと発電機の対応関係」を体験する。この時はグループワークとし、手回し発電機による発電、逆に手回し発電機に乾電池をつなぐことでモーターが回転する事等確認し、その

後、手回し発電機2台をつないで使うことで一方を回転させた回数と、その結果としてもう一方が回転した回数の差、つまり発電における効率（ロス）を実感する事ができる。

その後、LEDの性質について学習し、その一方通行性を確認する。その上で「充電部」基板を用いた「無理やりの充電」を行い、手回し発電機による発電を止めるとすぐに放電（逆方向）に向かう事を確認させる。この時、検流計を用いる事で電気の逆流をアナログで、視覚的に捉える事ができる。なお、放電時には充電時に対して電流の向きは変わるが、手回し発電機の回転方向は充電時と同じ方向である。この現象を不思議に思う生徒も多いと予想されるため、きちんと説明する必要がある。

続いて「整流部」の基板を用いて同様に充電を行う。この時には発電を止めても電流の逆流は起こらず、整流子の逆流防止効果が確認できる。また、オシロスコープを用いる事で交流の電流をプラス側のみに変えていることも確認できる。

最終的にはあらかじめ放電しておいた充電電池に手回し発電機を用いて充電し、タミヤ製メカダービー（電池で動くおもちゃの一例）を走らせることで発電における労力（発電に用いたエネルギー）と実際に充電された電力とを対応させる事ができる。この時、手回し発電機を直接メカダービーにつないだ場合と比較する事で、エネルギーの変換・備蓄におけるロスの大きさを実感する事も可能である。

表2 『手力ためる君回路理解用教材』を用いた活用事例案（授業の流れ）

生徒の活動	教師の働き・支援
1. 既習事項である「電磁誘導」について復習する。	・磁界を動かす事でコイルに電流が流れる。発電の基本である事を確認する。
2. 手回し発電機2台を用いて、変換効率について考える（グループワーク）。	・手回し発電機を回した回数と反対側の手回し発電機が回転した回数を教えさせ、ロスが生じる事を確認させる。 （・手回し発電機を回転させる速さに着目させ、変換効率の変化に気付かせる。）
3. 手回し発電機、LED、乾電池を用いて、モーターと発電機の間関係を理解する（グループワーク）。	・LEDの点灯には電流の向きが関係している事を確認させる。
4. 「無理やり充電」を体験する。「電流方向指示部」基板、「充電部」基板と手回し発電機で回路を作り、途中でつなぎ方を変えながら発電を行なう	・手回し発電機を回すのをやめると、すぐに放電する（手回し発電機が回る）ことを確認させる。 ・検流計を用いる事で発電から放電への変化を視覚的に捉えることもできる。

5. 整流子の性質を知る（手力ためる君）。「整流部」基板を回路に加えて同様の実験を行う	・結果の違いから、整流子によって電流の逆流が防止されていることを確認する。 （・オシロスコープを用いる事で電流がプラス側だけにシフトしている様子が確認できる。）
6. 充電した電気エネルギーを使ってみる。メカダービー（乾電池で動くおもちゃ）を用意し、充電したエネルギーを使って動かしてみる。	・直接手回し発電機をつないだ場合と比較させ、エネルギー変換・充電の際のロスについて実感させる。

5 実践報告

ここで紹介した教材を用いて、さまざまな小中高等学校にて出前講義もしくは科学教室として実施した。その活動（平成21年8月まで）は参考文献2で報告済みであり、参照いただきたい。その後の近年の活動を表3にまとめる。実践においては表2に示すように、きちんと基礎からの復習も行いつつ、段階的にエネルギーに関する学習ができる形式で行った。また、教員研修においては、特に新指導要領に則した実践力を養うための指導も行った。これらの情報は継続的に研究室ホームページに公開しており、こちらをご覧ください⁵⁾。

表3 『手力ためる君』及び『コンデンカー』を用いた近年（平成21年8月以降）の教育支援活動

年	タイトル、開催日時	学校名もしくは対象者
21	「新学習指導要領に応じた小学校6年生『電気の発電・蓄電』に関する教材活用」（教員研修）8月11日（火）	出雲市内の小中学校教諭42名
22	平成22年度エネルギー・環境教育フォーラム「教師力アップ研修会」実践事例発表（教員研修）7月31日（土）	中国地域小中高等学校教諭140名
	「平行板コンデンサーの製作と実験」小学校理科6年生「電気の利用（電気をためる）」（教員研修）8月12日（木）	出雲市内の小学校教諭26名
	「新学習指導要領に応じた小学校6年生『電気の発電・蓄電』に関する教材活用」（教員研修）8月24日（火）	山口県内小学校教諭20名

6 おわりに

我々は「教材」から見た授業実践とは3つに分けられ

ると考える。それらは①：市販の教材を如何に活用するか。②：市販の教材を改良することによって、新しい使用法の導き出し、活用する。③：自ら新しいものを開発する。である。『手力ためる君』はタイプ③であり、『コンデンカー』はタイプ②に相当する。そして、本論文においてはこれら教材の回路、原理、性能、実践について報告を行った。

PL法の問題やエネルギー変換効率の問題から「充電池」より「コンデンサー」に軍配が上がり、平成20年に改訂された小学校の新指導要領に組み込まれたことは一定の理解を示す。しかし、共に身の回りで活用されているが、電化製品等の内部で利用され、一般になじみの無い「コンデンサー」より、環境・エコのためにその利用度が上がっている「充電池」の方が小学校での体感的学習における利用価値は上だと考える。さらには、「コンデンサー」に関する学習が、小学校及び高等学校（物理）に限定されていることから、高校物理へのつなげる基礎学習としては小学校よりむしろ、中学校理科における「コンデンサー」学習が必要ではなからうか。もしくは、中学校における「コンデンサー」学習も必要ではなからうか。本論文で紹介した『手力ためる君』、『手力ためる君回路理解用教材』、『コンデンカー』はこれら問題を解決し、さらには従来の指導要領には示されていなかった「エネルギーの備蓄（電気の充電）」に関する定性的理解から定量的理解までを目的とした発展的な学習のための打ってつけの教材と言える。

最後になるが、教材は活用されることによって始めて、その価値があるものと変わるものである。本論文で紹介した教材を小中高等学校における授業等で活用して頂けると幸いです。製作支援、実践支援等も行っていますので、ご連絡いただきたく思います。

謝 辞

本論文で述べた活動の一部は日産科学振興財団（平成16, 17年）、エネルギー教育調査普及事業・地域拠点大学事業（公益財団法人 日本生産性本部・エネルギー環

境教育情報センター）（平成17-19年）、島根大学教育学部学部長裁量経費（平成19, 20年）、マツダ財団（平成20, 21年）、（財）日本教育公務員弘済会（平成22-23年）からの研究・事業助成により活動を行っている。ここに感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 「山陰の地域に根差したエネルギー環境教育に関する実践的研究－山陰エネルギー環境教育研究会（教育普及部門）活動報告－」重松宏武、平野俊英、秋重幸邦
島根大学教育学部附属教育支援センター研究紀要『島根大学教育臨床総合研究』2006 Vol. 05, p. 69-77.
- 2) 「エネルギー・環境をテーマとした教材開発、研修及び実勢－島根大学教育学部における学生指導と実践の記録－」重松宏武、西村学、新宅孝恵、池添千津子、谷口将人、野村啓介、森山充、野々村佳代、高田慧、中山慎也、西山桂
島根大学教育学部附属教育支援センター研究紀要『島根大学教育臨床総合研究』2010 Vol. 09, p. 123-139.
- 3) 「エネルギー生成・変換・備蓄をテーマとした教材開発と実践－蓄電池とコンデンサー－」野村啓介、野々村佳代、谷口将人、重松宏武 日本理科教育学会第57回中国支部大会発表論文集 2008 p. 54.
- 4) 「エネルギー生成・変換・備蓄をテーマとした教材開発と実践」重松宏武、平野俊英、野村啓介、谷口将人、森山充
日本エネルギー環境教育学会 第二回全国大会論文集 2007 p. 121.
- 5) 重松研究室ホームページ（山口大学教育学部理科教育講座）
<http://shige.edu.yamaguchi-u.ac.jp/>