

平成 22 年 5 月 27 日現在

研究種目：基盤研究 (C)  
 研究期間：2007 年度 ~ 2009 年度  
 課題番号：19500724  
 研究課題名 (和文)  
 持続可能な社会のための自然エネルギー技術に関する教材開発  
 研究課題名 (英文)  
 Development of Teaching Tools on Natural Energy Technology for Sustainable Society  
 研究代表者  
 山本 利一 (YAMAMOTO TOSHIKAZU)  
 埼玉大学・教育学部・教授  
 研究者番号：80334142

## 研究成果の概要 (和文)：

本研究は、初等中等教育における科学技術に関する理解及び興味・関心を高め、持続可能な社会を築く人材を育成することである。そのため、自然エネルギーの中でも、太陽光発電、風力発電、バイオマスエネルギー、温度差発電を題材とした教材・教具を開発し、最新の科学技術を実験や体験を通して学習を提案した。

開発した教材・教具やカリキュラムは、学校に提案するだけでなく、教員研修など社会教育でも活用された。実践者から、これらの研究がさらに進められることを求める意見が多く出され、今後も研究を続ける必要性を確認することができた。

## 研究成果の概要 (英文)：

The purposes of this study are to raise interests and concerns on science and technology in primary and secondary education and to encourage students to build a sustainable society. Therefore, teaching materials on the subjects of photovoltaic power generation, wind power generation, biomass energy and thermal energy conversion in natural energy were developed and curriculum to learn most-advanced science and technology through experiment and experience was proposed. Developed teaching materials and curriculum were utilized not only for classes but also for the training of teachers. From participants, the many opinions that request further development of teaching materials on energy were obtained. Thus, the necessity of continuing this study further more was confirmed.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008 年度	700,000	210,000	910,000
2009 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育

キーワード：自然エネルギー

## 1. 研究開始当初の背景

アメリカ政府は、科学技術振興のための機関である国立科学財団や、科学技術政策局

(Office of S&T Policy : OSTP)、国家科学技術会議 (National S&T Council : NSTC) が、国際競争力の回復のためには、創造性豊

かな人材を、早期から育てる必要があることを唱え、教育戦略を掲げている。

これを受け、我が国においても日本技術者教育認定機構（JABEE:Japan Accreditation Board for Engineering Education：科学技術系学協会と密接に連携しながら技術者教育プログラムの審査・認定を行う非政府団体）が設立され、質の高い科学技術者を養成するために動き出した。このような社会的背景をもとに、科学技術創造立国として目指すべき国の姿と総合戦略の理念を打ち出しており、この第2期科学技術基本計画の中の重要政策に、「初等中等教育を通じ科学技術に対する興味・関心の育成」が盛り込まれた。現在、我が国では、国際的に通用する人材の養成が不可欠であり、それらの基盤をなす初等中等教育への期待は極めて大きく、科学技術の振興は、未来への先行投資として位置づけている。また、文部科学省では、科学技術・理科大好きプラン及び関連施策を掲げ、技術革新や産業競争力強化を担う将来有望な科学技術系の人材の育成に取り組み始めた。国民全体が科学技術に関心と理解を深めるとともに、次の世代を担う青少年が、科学技術に夢と希望を傾け、科学技術に対する志向を高めていくことが目的となっている。このように、科学技術に関する、教材・教具及びカリキュラム開発が求められており、初等中等教育を見据えた、本研究の担う役割は大きい。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、初等中等教育における科学技術に関する理解及び興味・関心を高める教材・教具の開発とそれらを援用したカリキュラムの開発である。これらの、手立てを活用することにより、創造性豊かな人材を育成することを目的としている。具体的には、自然エネルギー（太陽光発電、風力発電、燃料電池、バイオマスエネルギー、海洋温度差発電）を題材として設定し、最新科学技術の体験を通して学習する教材・教具及びカリキュラム（学習指導マニュアル）の作成である。本研究では、開発した教材やカリキュラムを学校現場へ広く普及させるために、都道府県で行われている教員研修に活用することを目指している。さらに、ここで開発した教材やカリキュラムを社会教育の場である、科学館や博物館で活用することも計画している。

## 3. 研究の方法

本研究は、①現状・実態の調査、②教材・教具の開発、③それらを援用したカリキュラムの開発、④授業実践による教材・教具及びカリキュラムの評価、⑤教材・教具及びカリキュラムの改善、⑥教員研修、社会教育への提案、⑦総合的な研究の評価の手順で進めるものである。

## 4. 研究成果

### 4.1 生徒の実態

中学生を対象にエネルギーに関する調査を実施した。調査では、問1「エネルギーやそれらの応用技術に関する興味・関心」と問2「発電の仕組みや割合」、「エネルギー問題に関する知識」を4件法で尋ねた。これらの項目は、Moriyama et. al(2004)が、中学生の技術に対する興味意識に対する因子分析を行った結果より、「エネルギーの利用と環境保全」因子に含まれる項目に基づいて設定した。これらの質問項目によって、中学生のエネルギーに関する興味・関心と知識の実態を把握した。

この調査の結果より、興味・関心に関する調査の結果を表1に、知識に関する調査の結果を表2に示す。

問1の興味・関心に関しては、「クリーンエネルギー」、「原子力発電」、「省エネルギー」、「地球温暖化」、「酸性雨」、「事故の発生」、「エネルギー利用の技術」の全ての項目に対して高い値を示しており、生徒たちはレディネスとして、エネルギーやそれらの応用技術に対して興味・関心を持っていることが示された。

しかし、問2の知識に関しては、「石油の枯渇」に関しては認知しているが、「発電の割合」、「海洋温度差発電」、「エネルギー問題」、「発電の仕組み」については、十分な知識が身につけていないことから、エネルギーやそれらの技術に関して興味・関心はあるが科学的な認識が形成されていない実態が示された。

表1 生徒の興味関心の程度

	男子(n=19)		女子(n=14)		全体(n=33)	
	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.
クリーンエネルギー	3.00	0.58	3.21	0.89	3.09	0.72
原子力発電	2.84	0.60	3.00	0.78	2.91	0.68
省エネルギー	3.05	0.62	3.21	0.58	3.12	0.60
地球温暖化	3.00	0.75	3.21	0.80	3.09	0.77
酸性雨	2.95	0.71	3.43	0.65	3.15	0.71
事故の発生	2.74	0.65	2.93	1.00	2.82	0.81
エネルギー利用の技術	3.26	0.73	3.29	0.91	3.27	0.80

4件法

表2 生徒の知識の程度

	男子(n=19)		女子(n=14)		全体(n=33)	
	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.
石油の枯渇	3.00	1.11	2.93	1.00	2.97	1.05
発電の割合	1.32	0.48	1.57	0.65	1.42	0.56
海洋温度差発電	2.32	0.75	2.00	0.78	2.18	0.77
エネルギー問題	2.21	0.92	2.14	0.77	2.18	0.85
発電の仕組み	2.58	0.90	2.36	0.63	2.48	0.80

4件法

#### 4.1 開発した温度差発電教具

開発した温度差発電教具は、無色透明の亚克力板で製作されており、内部の構造を視覚的に確認できるようになっている。2つの水槽(高温・低温)にはアルミニウムのフィンが取り付けられており、水槽に入れられた物質の温度を伝えている。フィンの温度は、アルミ丸棒に伝わり、それがペルチェ素子(熱電冷却素子:Peltier device)に伝わり、そこで熱電発電が行われている。

熱電発電とは、熱エネルギーを直接電気エネルギーに変換するもので、高温部分と低温部分との温度差により発生する、熱が移動しようとするエネルギーを電気エネルギーに変換するものである。ペルチェ素子は、P型とN型の半導体を接合した単位素子が複数接合されており、この素子の一方を低温、一方を高温に維持すると素子を通して高温側から低温側に熱流が発生する。即ち高温側から素子内に熱エネルギーが流入し、素子を通して低温側から放出される時、素子に流入した熱エネルギーの一部が放熱されずに素子内部で電気エネルギーに変換され、外部負荷から電力として取り出すことができる。

本教材では、ここで発生した電力を利用して、外部負荷としてDCモータを取り付け、温度差により電力が発生していることを実験を通して学習できるようになっている。実験の中で測定するものは、水槽の温度、ペルチェ素子の表面温度(ペルチェ素子に取り付けられたアルミニウム丸棒の高・低温側に温度計を取り付けてある)発生電流、負荷電流、モータの回転数(プロペラに反射板を取り付け光による非接触で測定)が可能である。本教具の、水槽にはオーバーフローを防止するパイプが取り付けられており、一定量の水を加えた場合そのパイプから下部の受け水槽に流れるようになっている。また、水槽に貯められた水も、このパイプを外すことにより、下部の受け水槽に流れるようになっている。そのため、教具を逆さまにして水抜きをする必要がなく、測定部が濡れることを防いでいる。教具の外観を図1に示す。

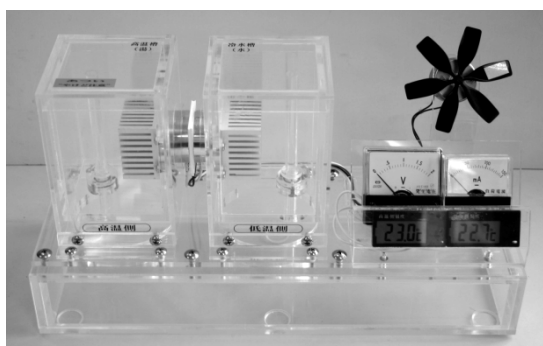


図1 温度差発電教具

#### 4.2 開発した風力発電教具

開発した風力発電教具は、上部に風車翼を取り付け、この回転運動を、主軸に伝える仕組みとなっている。そのため、風の向きに対し垂直方向に回転することから、垂直型風車と呼ばれるものである。回転軸には風による風車の回転をスムーズに行うことができるように、磁石が取り付けられている。これは、軸浮上型軸受けと呼ばれるもので、極が反発するように取り付けられ、浮いた状態になっている。また回転軸は、ギアを搭載し回転の4倍の増速をはかっている。増速された回転はその後、ネオジウム磁石が取り付けられている回転盤に伝わり、コイルに磁界の変化を与え、発電するものである。

ネオジウム磁石は日常的に使用されるフェライト磁石の約10倍の磁力を持った強力な磁石でそれらが、回転盤の表面にS極とN極がそれぞれ交互に取り付けられており、回転運動により磁界が変化する。磁石の磁力が大きいほど、より多くの電流がコイルに流れるため、効率は向上する。

磁石付き回転盤の下部には、トランス(変圧器)が取り付けられており、その間のコイルに電気が発生する仕組みとなっている。トランスはコイルに発生した電流(この場合、N極S極が回転により交互に変化するため、交流が流れる)を電圧に変換する特性がある。発生電圧は、回転が早くなれば高くなり、より多くの電気を作ることが出来る。ただし、実際には風の力が強すぎた場合、風車自体に負荷がかかりすぎて、破壊したりする恐れもあるため、回転数を制御(ブレーキをかける)する必要がある。教具を活用した授業実践の様子を図2に示す。

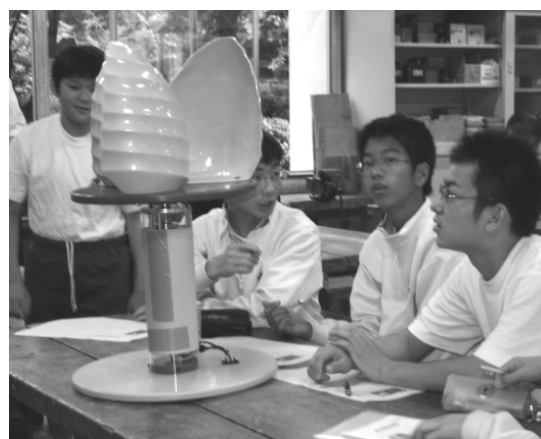


図2 教具を活用した授業の様子

#### 4.3 開発した太陽光発電教具

本太陽光発電教具は、手回しの発電機や太陽電池からの電気を各負荷に取り付けて、各種動作させるまでの過程を学習するものである。手回し発電機は、ハンドルを回して

アーを用いて回転数を上げ、発電機 (RE:140) に動力を伝達している。教具A本体 (150mm×180mm) に取り付けられた負荷は、LEDと豆電球 (光)、D. C.モータ (動力)、ブザー (音) など、中学生の身近にある素材を用いた。中学生が電気の流れを視覚的に学習できるように、これら各種負荷の端子に、みのむしクリップを介して電気エネルギーを供給できるようにしている。発電した電気エネルギーを蓄えるために、スーパーキャパシタ (SUPER CAPACITORS: 電気二重層コンデンサ) を取り付けられた。通常は、充電装置として、Ni-Cr 蓄電池を用いる場合が多いが、その場合は過充電を検知する装置や逆流防止装置などが複雑になるため、小型で安価なスーパーキャパシタを用いた。スーパーキャパシタは、アルミ電解コンデンサと比較して、内部抵抗が大きく、リップル吸収用などの交流回路には利用できない反面、充電時間が数秒でよいことなどから、直流回路の電源バックアップなどの二次電池として活用できる。また、Ni-Cr 電池と比較して充放電寿命が長く (Ni-Cr 電池では約 300 回、スーパーキャパシタでは無制限)、液漏れなどの恐れもなく、少量の電気の充放電に適している。生徒たちは、発電した電気エネルギーをみのむしクリップで各種負荷に直接接続することにより、回路を意識することなくその動作を確認することができる。

#### 4.4 開発したバイオマス炭化装置

開発したバイオマス炭化装置の熱を排出する箇所は、3箇所ある。1つめが籾殻等を燃焼する燃焼室、2つめが可燃ガス等を再び出来る限り燃焼させるための再燃焼室、3つめが燃焼に伴う煙を排出する煙突である。今回使用した炭化装置は、資源のリサイクルを念頭に置いて、材料は掃除用ワックスの空き缶と若干の鉄板 (0.8mm) 等を用いて製作された。この装置は、高温の排熱が通過する素焼きの煙突を中央に配置、その周辺に上部から籾殻等、比較的細かいバイオマスを連続的に供給、下部の燃焼室で炭化し、塊状になった炭をスクレーパーと呼ばれる付属設備で細かくしながら最下部のシャッターを開き外部に排出する構造となっている。内容積は約 27 リットルである。多少内部構造を変更すれば、割り箸、剪定枝、裁断済みの紙類、あるいは生ゴミなどの炭化にも利用できる。燃焼室と煙突の間には、バイオマスを炭化する際に排出される可燃ガス等を再び出来る限り燃焼させるための装置である再燃焼室を組み込み、下部からパイプを通し、小型のファンで空気が十分に流入可能な構造とされている。炭の排出から次の排出までの時間は約 13 分で、燃焼室内上部の温度が 700℃ に達したときに炭の排出期とされている。さ

まざまな検討の結果、煙突の出口ではかなりの高温が得られるとともに、1時間当たり、含水率約 10% の籾殻 2.1kg から 0.7kg の良質の燐炭を製造できることが確認されている。これらを活用することにより、温度差を利用したスターリングエンジン等に活用が可能となる。

#### 4.5 教員研修での開発した教材・教具及びカリキュラムの評価

開発した教材・教具及びカリキュラムは、授業実践を行い、教材・教具を改良し、より学習効果が期待できるようカリキュラムを改善して、教員研修へ提供し、評価を行った。教員研修は、福井県、石川県、埼玉県、山梨県で実施した。提供した学習題材として、太陽光発電、風力発電、温度差発電、廃熱を利用したスターリングエンジンである。研修の流れは、①エネルギー教育の必要性と学習指導要領の関係、②各学校で取り組んでいるエネルギー教育の実態把握、③教材・教具の製作、④カリキュラムの検討、⑤提案内容の総合的評価及び改善の方向性の調査、⑥自校の利用と実践について、の手順で進められた。

全ての研修で、教材・教具及びカリキュラムに関して高い評価を得ることができた。同時に、これらがより学校で活用されやすいよう、「資料の提供方法」、「学習支援プリントの改善」、「活用事例の流通」など、様々な意見を徴集することができた。

このように教材開発は、学校現場では十分に対応できないため、具体的な体験や実験を通して授業が展開できないことに教員も問題意識を強く持っており、より活用しやすい教材の提供が求められた。このことから、本研究の継続的発展の必要性が確認できた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ①池田垣稔・森山 潤: 中高生のエネルギー・環境問題に対する生活行動や興味・関心と環境倫理意識との関連性、技術科教育の研究, 査読有, 2010.3
- ②山本利一・星野孝仁・石田康幸・西村琢磨: 製作題材用風力発電装置の開発と授業実践, 埼玉大学紀要教育学部, 第 59 巻, 第 1 号, pp23-31, 2010.3
- ③星野孝仁・山本利一・戸田富士夫・針谷安男: 製作題材としてのスターリングエンジンの開発と授業実践, 埼玉大学紀要教育学部, 第 58 巻, 第 2 号, pp. 209-315, 2009.9
- ④森阪康昌・山本利一: 低温度差スターリングエンジンを活用した教員研修, 埼玉大学紀要教育学部, 第 58 巻, 第 1 号, pp. 105-111,

2009. 3

- ⑤石田康幸・加藤智博・山本利一：生ゴミ堆肥を用いた環境教育法の開発、『教育実践総合センター紀要』（埼玉大学教育学部附属教育実践総合センター），第8号，pp. 113-123, 2009. 3
- ⑥石田康幸・山本利一：生ゴミ堆肥を活用した栽培・環境教育，都市系食品バイオマスの資源化・リサイクル促進戦略(CD-ROM)，2009. 3
- ⑦Toshikazu YAMAMOTO, Koji OGIKUBO and Takuma Nishimura : Development of the Teaching Tool to Learn the Mechanism of Wind Power Generation, Proceedings of 4th International Conference on Business and Technology Transfer, The 4th International Conference on Business and Technology Transfer, 査読有, pp.28-33, 12. 4-6, USA 2008. 12
- ⑧山本利一・森山潤・角和博・池上康之：ペルチェ素子を用いた温度差発電学習教具の開発と授業実践，日本産業技術教育学会誌，査読有，第49巻，第4号，pp-315-322 2008. 3

[学会発表] (計13件)

- ①山本利一・星野孝仁：圧電素子を利用した波力発電装置の開発と授業実践，日本機械学会部門講演会「技術と社会の関連を巡って：過去から未来を訪ねる」（技術と社会部門），金沢工業大学，pp. 9-10, 2009. 12. 5
- ②大和佑子・山本利一：学習意欲を持続させるグループ形態の関する研究，日本産業技術教育学会関東支部大会（埼玉），PP. 111-112, 2009. 11. 28
- ③富樫由朱・山本利一・竹内和也：発電・蓄電を体験的に学習する指導過程の提案，日本産業技術教育学会関東支部大会（埼玉），PP. 57-58, 2009. 11. 28
- ④山本利一・星野孝仁・杵渕信・川崎直哉・田口浩継：PICマイコンを用いた情報に関する技術の授業実践，日本産業技術教育学会第52回全国大会（新潟），pp. 76, 2009. 8. 22
- ⑤山本利一・星野孝仁：波力発電を学習する教具の開発と授業実践，日本産業技術教育学会第52回全国大会（新潟），pp. 80, 2009. 8. 22
- ⑥Toshikazu YAMAMOTO, Koji OGIKUBO and Takuma Nishimura : Development of the Teaching Tool to Learn the Mechanism of Wind Power Generation, The 4th International Conference on Business and Technology Transfer, pp. 28-33, 2008. 12. 5
- ⑦星野孝仁・山本利一・戸田富士男：製作題材としての「スターリングエンジン」開発，

第11回スターリングサイクルシンポジウム（日本機械学会），pp. 105-106, 2008. 11. 5

- ⑧山本利一・角和博・池上康之：温度差を利用したエネルギー学習教具の開発－温度差発電教具と温度差動力出力教具を活用した授業実践－，海洋エネルギーシンポジウム 2008（全国共同利用研究成果発表会），pp. 29-32, 2008. 9. 25
- ⑨山本利一：波力発電装置の開発，日本産業技術教育学会第51回全国大会（仙台），pp. 33, 2008. 8. 24
- ⑩山本利一・大開拓也・五百井俊郎：コンピュータ活用した生徒の思考整理を支援する指導過程の提案，日本教育情報学会第24回年会（大妻女子大学），pp. 204-205, 2008. 8. 19
- ⑪山本利一・星野孝仁：スターリングサイクル学習を支援する教具の開発，2008年日本機械学会年次大会（横浜）講演論文集，Vol. 5, pp. 459-460, 2008. 8. 6
- ⑫星野孝仁・山本利一・針谷安男・戸田富士夫・坂本弘志：スターリング機関の動作原理を効果的に指導する教材・教具の開発と試行的実践，日本産業技術教育学会第19回関東支部会（横浜国立大学），2007. 12. 2
- ⑬加藤智博・石田康幸・廣瀬愛・山本利一：生ゴミ堆肥を活用した栽培活動を通じた環境教育法の開発についての一考察，日本産業技術教育学会第50回全国大会（大阪），pp. 143, 2007. 8. 25

[産業財産権]

○出願状況（計1件）

名称：発電装置及び発光ブイ

発明者：山本利一

権利者：埼玉大学

種類：特許

番号：特願 2008-80296

出願年月日：2008年3月26日

国内外の別：国内

○取得状況（計0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本利一 (YAMAMOTO TOSHIKAZU)

埼玉大学・教育学部・教授

研究者番号：80334142

(2)研究分担者

石田 康幸 (ISHIDA YASUYUKI)

埼玉大学・教育学部・教授

研究者番号：50134325

森山 潤 (MORIYAMA JYUN)

兵庫教育大学・学校教育研究科・准教授

研究者番号：40303482

(3)連携研究者

無し