

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：52604

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24501118

研究課題名(和文)ブロック式実験発電システムを用いた再生可能エネルギーの教育法の評価と検討

研究課題名(英文)Evaluation and considerations of renewable energy education using module-type experimental devices

研究代表者

山下 健一郎(YAMASHITA, Ken-ichiro)

サレジオ工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：10450131

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、日本のエネルギーを支える技術者の育成を目的とした再生可能エネルギー教育を提案し、同教育の効果について検討を行うとともに、教育内容の改善を行った。本教育の最大の特徴は、様々な組み合わせで利用できるブロック式の実験装置を用いた点であり、同装置の効果についても検討を行った。その結果、ブロック式の実験装置は組み合わせによって、様々な難易度の実験を構築することができるため、シリーズ化が容易となること、学習者のレベルに合わせた実験が可能となることから、再生可能エネルギー教育の教材として有用であることが明らかとなった。また、本教育では学習者の関心・知識・技術などを同時に養えることが判明した。

研究成果の概要(英文)：This research project proposes a new educational method towards future engineers and scientists in the field of renewable energy. The proposed method features module-type experimental devices which allow instructors to conduct various types of experiments by changing combination patterns of the devices.

Evaluation of the method suggests that providing learners with experiments of different levels of difficulty leads to better academic achievement, since it enables the education to meet the different levels of the learners' understanding. The effect becomes greater by arranging various experiments in elaborately-planned order so that the learners can acquire knowledge and skills in a steady manner. The proposed method for renewal energy education is considered appropriate and effective because, as its evaluation shows, it successfully enhances interest, motivation, knowledge, and skills of the future engineers and scientists in the field.

研究分野：総合領域

キーワード：環境教育 工学教育 産業・技術教育

### 1. 研究開始当初の背景

周知のとおり、我々の生活は多くの化石燃料の消費によって支えられており、これらの大量消費が引き起こす環境問題や燃料の枯渇問題が懸念されている。また、2011年に大震災を受けた我国日本はエネルギー転換期をむかえており、いまこそ先進国として、見本となるような持続可能な社会を打ち建てる必要がある。

日本は島国である為、陸地面積は狭いが、排他的経済水域は世界でも十指に入る広さを持っている。この広大な海洋に賦存する海洋再生可能エネルギーこそ次世代の持続可能な社会の構築に必要なものであると考える。こうした海洋再生可能エネルギー（例えば洋上風力発電）の研究・開発は世界各国で進められており、ヨーロッパ、アメリカ、中国などを中心に既に実用化・商業化がはじまっているが、同分野において日本は完全に「ガラパゴス化」している。こうした背景にはエネルギー教育、特に再生可能エネルギーに関する教育が十分に行われていない日本の現状が関係していると考えられる。

筆者らは再生可能エネルギー教育の一例として、実用規模（10kW）の小型風力発電装置（図1参照）を用いた実験実習を2011年度より実施しており、その手ごたえを感じ始めている。

### 2. 研究の目的

当該研究は、我国日本の再生可能エネルギーに関する教育を推進するための研究である。本研究ではエネルギーに対し正しい知識を有し、再生可能エネルギーの分野において活躍できるエンジニアや科学者の育成を目的とした「再生可能エネルギー教育」を提案する。提案する「再生可能エネルギー教育」とは、実際に使用されるような装置を用いた実験実習を基に、再生可能エネルギーに対する関心、知識、技術等を同時に養うものである。ここで重要となるものが実験実習で使用する装置であるが、再生可能エネルギーを利用した発電システムの基本構成は発電装置、電力変換装置、電力補償装置、負荷装置などであり、種々なマイクログリッドもこれら装置を組み合わせた形で構成される。そこで本研究では同教育の教材として、これら装置をひとつひとつのブロックで構成した「ブロック式の教育用実験発電システム」を開発し、これを用いた実験実習の効果について評価を行うと共に種々な検討を行い、より効果的な再生可能エネルギー教育法を構築することを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、先ず教材となる各ブロックの製作/試験/評価を行い、これらを組み合わせて実行できる再生可能エネルギー教育用の実験テーマを用意する。次いで、用意したテーマを高等専門学校3年生と4年生の授業



定格出力	: 10kW
ブレード数	: 3枚
ブレード制御	: 可変ピッチ
ダクト半径	: 2.5m
ブレード半径	: 2.325m
定格風速	: 12.5m/s
カットイン風速	: 3.0m/s

図1. 10kW 風力発電装置

カリキュラムに導入し、アンケート調査などにより、同実験の学習効果について検討する。また、検討結果をもとに、実験テーマや教材の改善を行い、より効果の高い再生可能エネルギー教育を構築していく。さらに、近隣住民に対する同ブロック式実験発電システムの公開や再生可能エネルギーをテーマとした講義による意識変化などについてもアンケート調査を行う。最後に同教育を受けた学生が再生可能エネルギーをテーマとした卒業研究を行った場合の効果について検討を行う。

### 4. 研究成果

#### (1) ブロック式実験発電システム

先ず、本研究で製作したブロック式実験発電システムについてまとめる。再生可能エネルギーは大きく分けると、風力発電や水力発電の様にタービンを駆動し、交流発電機を駆動して交流電力を得るものとバイオマスで改質した水素を利用する燃料電池や太陽電池などの様に直流電力を得るものに分けられる。得られた交流電力や直流電力は直接利用するか、もしくは系統に連携して運用することとなるが、こうした利用には蓄電池などの電力貯蔵装置や電力変換装置が必要となるだけでなく、再生可能エネルギーを有効に利用するための制御装置などが必要となる。このように再生可能エネルギーを利用するためには色々な機器を用いる必要があり、これらの組み合わせも様々である。ブロック式実験発電システムは再生可能エネルギーを利用する上で必要となる装置を役割毎のブロックで構成したものであり、電源の種類や学習者のレベル等に合わせて、様々な構成に組み替えることができる。

本研究では再生可能エネルギー教育用の教材として、以下のブロック式実験装置を製作した。種々な情報（電圧信号）を計測し、これを表示するとともに、各ブロックが必要とする情報を出力する「計測制御ブロック」（制御信号等の処理はプログラムで変更可能）、交流電力を直流電力に変換する「コンバータブロック」（2台）、また、これとは逆に直流を交流に変換する「インバータブロック」（2台）、直流電力を調整する「昇圧チョップアップブロック」と「降圧チョップアップブロック」、蓄電装置となるバッテリーの充放電に必要



図2. 製作した「ブロック式実験装置」

となる「双方向チョップパブロック」、また、他の装置と組み合わせることはできないが、学生の理解度を高める目的で、風力発電装置のヨーをコントロールする「ヨー制御ブロック」や、発電機の界磁用電源などに利用できる「手動直流電源ブロック」の8種10台である。各ブロックの写真を図2に示す（コンバータとインバータはプログラムが異なるだけであり、回路構成は同じである）。

本校では再生可能エネルギーを利用した発電装置（電源）として、図1に示す風力発電装置（10kW）や太陽電池（合計270W）を用意し、補助電源として、直流機と同期機のM-Gセット2機、また蓄電設備として12Vバッテリー9台を用いている。これらと図2のブロック式実験装置を組み合わせることにより、種々なテーマの再生可能エネルギー実験を行うことができる。

## (2) 実験テーマ

研究開始当初は高等専門学校3学年と4学年で各1テーマの実験を導入予定であったが、学生の学習レベルを考慮してテーマ数を3つに増やし、最終的に3段階とすることとした。表1に2011年度～2014年度に実施した再生可能エネルギー教育の内容を示す。同表に書かれている実験A～Cは次の通りである。Aは風力発電の基礎の理解を目的とした「風力タービンの特性試験」であり、10kW風車の出力特性を、自然風を利用して計測する実験である。Bは風力発電装置の制御の理解を目的とした「風力発電装置の最大電力追従試験」であり、Aで得られた出力特性に合わせて、風力発電装置を制御する実験である。Cは再生可能エネルギーの利用において重要となる電力平滑と他の電源とのハイブリッド運転の理解を目的とした「風力・太陽光ハイブリッド発電実験」である。

また、A～Cの右側に“(改善)”と書かれた実験は実験実施後に行ったアンケート調査

表1. 再生可能エネルギー教育の内容

対象学年	2011年度		2012年度		2013年度		2014年度	
	前期	後期	前期	後期	前期	後期	前期	後期
3年生		A		A(改善)		A(改善)		A(改善)
4年生		A		B	B(改善)	C	B(改善)	C(改善)

を基に、より効果的な教育を実施する為の改善を行ったものである。A(改善)はブロック式実験装置を導入したことによる改善であり、B(改善)では指導書の充実などの他に「ヨー制御ブロック」や「計測制御ブロック」など、今までブラックボックスとして取り扱ってきたものをブロック化し、学生に説明できるものとした。さらにC(改善)ではLabVIEWを利用して自動計測を行い、全体的にエネルギーのフローを学ぶことに重点を置いた。

## (3) アンケート調査

提案する再生可能エネルギー教育の効果を知るためには教育を行う前と後でどのように学生の意識や興味に変化したかを調べればよい。そこで、本研究では評価方法として、アンケート調査を用いることとした。アンケートは高等専門学校の1～5年生及び専攻科生（大学3、4年生に相当）を対象に行い、2011年度～2014年度の期間でその母数は延べ483名となった（2012年度以降は2年生～4年生を対象にアンケート調査を実施）。

アンケートは選択形式と記述形式で行った。選択形式の項目については以下の通りである。

- i 我国の再生エネは今後益々発展していく
- ii 再生エネによる電気を積極的に使いたい
- iii 将来はエネルギー関係の仕事に就きたい
- iv 再生エネに元々興味がある
- v 教育を受けて再生エネに興味が増えた
- vi 教育を受けて再生エネに興味が無くなった
- vii 実験は難しかった
- viii 実験は楽しかった
- ix 教育を受けて再生エネへの意識が変わった

※再生エネ：再生可能エネルギー

i～viiiの項目については4段階（4が肯定、1が否定とする）で評価してもらい、ixについては5段階（変化なしを3とし、数値の高いほど良い方への意識変化とする）で評価してもらった。また、2013年度には「実験時、天候が良好であった」、2014年度には「LabVIEWを用いた自動計測は良かった」（何れも4段階評価）をアンケート項目に加えて調査を行った。

## (4) アンケート調査の結果

以下、年度毎に得られたアンケート調査の結果について考察を行う。

### ①2011年度（ブロック式実験装置導入前）

2011年度に実施したアンケート結果の一例を図3に示す。同図において、再生可能エ

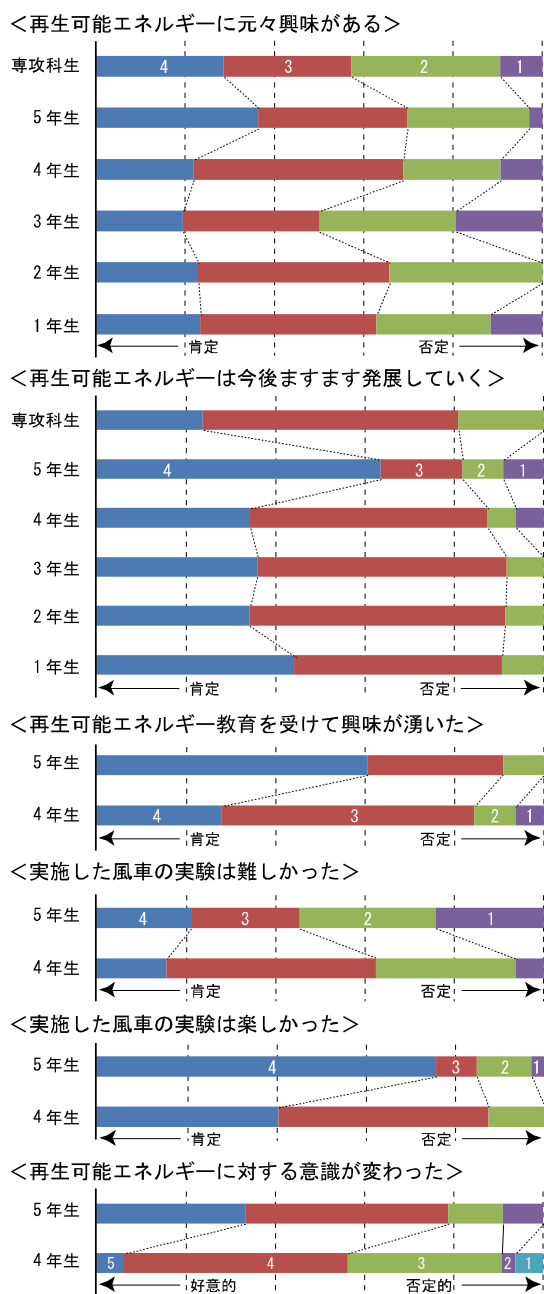


図 3. 2011 年度のアンケート結果 (一例)

エネルギー教育を受けた学生は、4、5年生（2011年度に3、4年生）である。まず、再生可能エネルギーに元々興味があるかどうかであるが、学年別に差が見られ、本校には再生可能エネルギーについて関心のあるもの、無いもの、様々な学生がいることがわかる。また、同エネルギーの発展予想については、本教育を受けていない1年生～3年生と専攻科生の回答には無い、完全否定の「1」を本教育を受けた学生のみがつけており、単に夢のエネルギーというだけでなく、より現実的な視点からエネルギーを考えることができるようになってきているものと考えられる。

次いで、教育そのものに関するアンケート結果について考察する。同教育を受けて再生可能エネルギーに興味を持った学生は5年生の方が多いことが分かる。これは行った実

験と学生の学習レベルとのマッチングが原因であると考えられる。なぜならば、4年生の半数以上が同実験を難しかったと答えており、実験が楽しかったと答えているにも拘らず、同エネルギーに対する意識の変化は5年生よりも少ないことが分かる。以上より、「再生可能エネルギー教育」は同エネルギーの教育法として、効果があること、より効果的なものとするためには、学生の学習レベルと教育内容のマッチングが重要であることが分かった。

②2012年度（ブロック式実験装置導入1年目）  
前年度の成果より、同教育をより効果的なものとするためには教育内容と学生の学習レベルのマッチングが重要となることから、同実験を難しいととらえる学生を50%以内に抑えることを目標に検討を行った。その一つが「ブロック式実験装置」の導入である。大型装置を取り扱う場合、計測装置、負荷装置、発電装置などがバラバラに設置されており、様々なブラックボックスが存在することとなる。これに対し、導入した「ブロック式実験装置」は役割毎にまとめられたものであり、ブラックボックスも可能な限り排除したものとなっている。そのため、同教材が学生の理解を助けるものになると考えた。

2012年度はブロック式実験装置を導入した実験A（改善）と同装置を導入しているが難易度がAよりも高い実験B（何れも表1参照）の教育効果について検討を行った。その結果の一例を図4に示す。同図には2011年度に高専3年生であった「旧3年生」、2012年度に3、4年生となった「新3年生」、「新4年生」のアンケート結果を示してある（旧3年生は学年が上がっているが新4年生と同じ学生である）。従って、旧3年生と新3年生のアンケート結果を比較することにより実験A（改善）の効果を知ることができ、旧3年生と新4年生の結果を比較することにより、実験Bの教育効果を知ることができる。

まずは実験A（改善）の効果であるが、同実験を難しいと考える学生を50%以内に抑えることはできていないものの、非常に難しいと考える学生は減少しており、ブロック式実験装置の導入には同項目に対する改善効果のあることが分かる。また、新3年生のうち、同実験を楽しみと感じている学生は90%を超えており、装置をブロック式としたことにより、実験Aの教育効果が上がっていると考えられる。さらに、再生可能エネルギーに対する意識調査では80%近くの学生の意識に何かしらの変化を与えていること、70%以上の学生については好意的な方向に意識変化が見られることなどから、前年度に実施した実験Aと比べて、より良好な影響の表れていることがわかる。

次に実験Bについて検討する。まずは難易度についての質問であるが、実験Bの難易度は無論、実験Aと比べて高いものとなってい

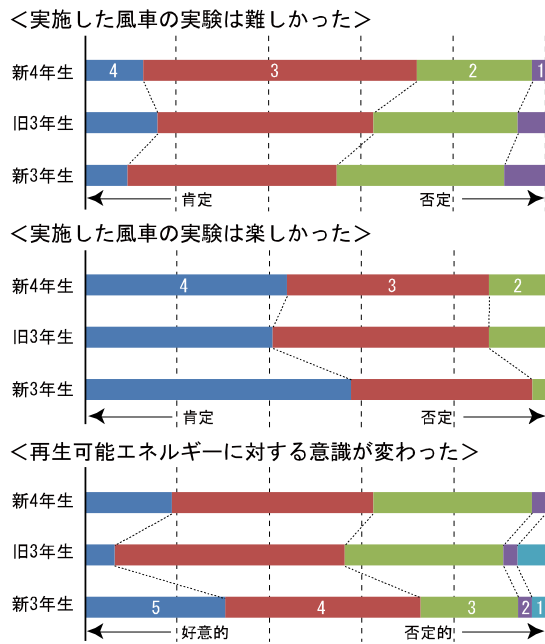


図 4. 2012 年度のアンケート結果（一例）

る。実際にアンケート結果を見ても、70%以上の学生が同実験を難しいと感じており、実験方法など改善が必要であることが分かる。しかしながら、同実験を楽しんでいる学生が80%を超えていること、意識調査においても良い方向へ意識変化を起している学生が多いことなどから、再生可能エネルギー教育のシリーズ化の効果について、詳しい検討を行う必要のあることが分かった。

③2013年度(ブロック式実験装置導入2年目)

前年度の成果から、ブロック式の実験装置が実験の理解度を助ける働きのあることが分かった。また、同教育法をシリーズ化することにより、大きな効果の得られることが感じられた。2013年度は新たな試みとして、「ブラックボックス排除の効果」と「3段階教育の効果」について検討することとした。ブラックボックスの排除については、実験AとBに対して、その付属となるヨー制御ブロックや計測制御ブロックなどの動作や中身についても学習することとし、可能な限りブラックボックスのない実験を目指した。また、3段階教育の効果については、実験テーマをABCの3つとし、シリーズ化による効果について検討を行った。新旧3、4年生を対象としたアンケート結果を図5に示す。

まずブラックボックス排除の効果についてであるが、新旧3年生の結果を比較すると、ブラックボックスを排除した実験A(改善)を実施した新3年生は同実験を非常に難しく感じていることが分かる。また、楽しいと思っている学生の割合も低減している。実験内容に大幅な変更は無く、装置の「見える化」が逆に難易度を上昇させた原因であると考えられる。このことから、何でも見られるようにするのはではなく、大事な部分のみを見せ、余計なものはブラックボックスのままにし

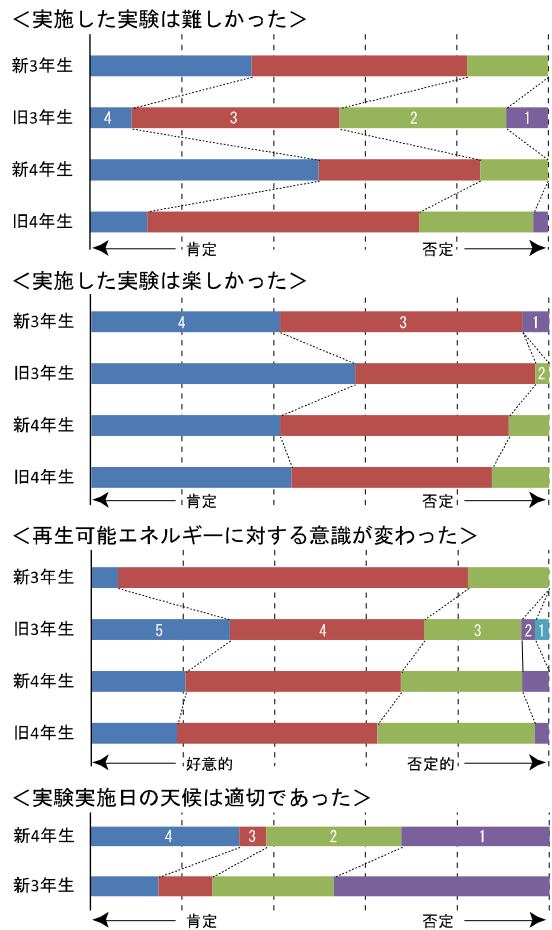


図 5. 2013 年度のアンケート結果（一例）

ておくといった「見せる／見せない」の選別が重要であることが判明した。

次に新旧4年生の結果を比較することにより、3段階教育の効果について検討する。実験Cにはあえて難易度の高いハイブリッドシステムをテーマとしたものを用意した。新4年生のアンケート結果からもその難易度の高さが伺える。しかしながら、難しい内容の実験にも拘わらず満足度(楽しかった、好意的な意識変化)の大幅な減少は見られず、むしろ好意的な意識変化は増加していることが分かる。これは、教育内容を3段階とした効果によるものであり、様々な組み合わせによって難易度調節可能な「ブロック式の実験装置」の有効利用により、更なる効果が期待できるものと考えられる。

本教育において天候は重要なファクターである。今回新4年生の実験に太陽電池を導入した結果、天候が適切であったと回答した学生は図5に示すように増えており、複数のエネルギー源の導入により実験環境が整いやすくなることが分かった。

④2014年度(ブロック式実験装置導入3年目)

最終年度は本教育を受けた学生の意識変化の推移と能力の変化、同教育を受けていない学生との比較、近隣住民に対する再生可能エネルギー教育の効果等について検討した。図6に学生を対象としたアンケート結果の一

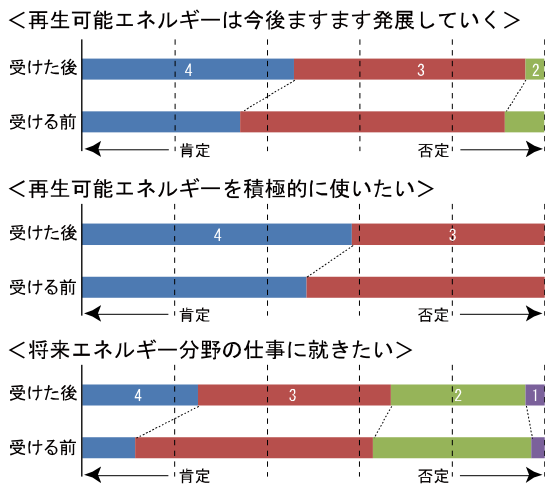


図 6. 2014 年度のアンケート結果（一例）

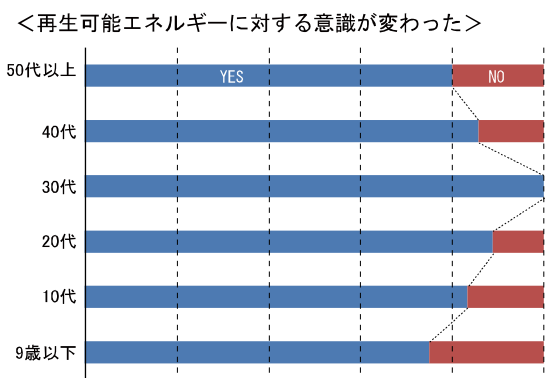


図 7. 近隣住民のアンケート結果（一例）

例を示す。同図は本教育を受ける前（2011年度の1年生）と受けた後（2014年度4年生）、の意識調査に関するアンケート結果の例である。図より、再生可能エネルギーはますます発展していく、再生可能エネルギーを積極的に使いたいと答えた学生の割合は本教育を受けたことにより、増加していることが分かる。教育を受け、学年も上がり、現実的な視野を得ながらも、こうした意識の改革につながったことから、同教育の効果を知ることができる。また、将来エネルギー分野の仕事に就きたいと考えている学生も増えており、エネルギーに対する興味も強くなったことが分かる。

最終年度は学生に対する再生可能エネルギー教育だけでなく、近隣住民に対しても1回限りの講演・実験という形で、再生可能エネルギー教育を実施した。その効果について、アンケート調査の結果のひとつを図7に示す（母数51名）。同図は再生可能エネルギーに対する意識の変化の有無を調べたものである。図より、何れの年代においても意識変化を与えることができている、同教育はエネルギーに関する啓発活動のひとつとして効果のあることが分かった。

#### (5) まとめ

本研究ではブロック式実験装置を用いた

再生可能エネルギー教育を提案し、本教育を受けた学生を対象としたアンケート結果を基にその教育内容の改善を実施した。その結果、提案するブロック式実験装置は、同じ装置を使用しながらも、その組み合わせにより、様々な構成で利用することができるため、教育において重要となる「学習レベルのマッチング」の調整に有効であること、装置の組み合わせを変え、本教育をシリーズ化することによって、より大きな効果の得られること、本教育では再生可能エネルギーに対する関心・知識・技術等を同時に養うことができることなどが明らかとなった。

なお、本教育を受け、再生可能エネルギーをテーマとした卒業研究を行った学生については、みな意識が高く、研究に着手する時期が早まるなどの効果が出ており、高専5年生の5月の段階で学会発表用の原稿を仕上げられるレベルに到達したことから（2014年度2名、2015年度1名）、学生の同分野に対する能力の向上にもつながったものと考えられる。

今後はより扱いやすく、自由度の高いブロック式実験装置を製作するとともに、その種類を増やし、より効果的な再生可能エネルギー教育の構築を目指していく予定である。

#### 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕（計6件）

①山下健一郎、ブロック式実験装置を用いた再生可能エネルギー教育とその効果、日本工業教育協会第62回年次大会、2014. 8. 30、「広島大学（広島県・東広島市）」

②山下健一郎、再生可能エネルギー教育とその教材製作を通じた教育、平成25年度全国高専教育フォーラム、2013. 8. 23、「豊橋技術科学大学（愛知県・豊橋市）」

③山下健一郎、10kW風力発電装置を用いた再生可能エネルギー教育とその効果、日本工学教育協会第61回年次大会、2013. 8. 29、「新潟大学（新潟県・新潟市）」

④山下健一郎、10kW風力発電装置を用いた再生可能エネルギー教育の一事例、日本工学教育協会第60回年次大会、2012. 8. 24、「芝浦工業大学（東京都・江東区）」

〔その他〕

サレジオ工業高等専門学校 エネルギー変換研究室 HP 再生可能エネルギー教育  
<http://www.salesio-sp.ac.jp/department/lab/yamasita/>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

山下 健一郎 (YAMASHITA, Ken-ichiro)  
 サレジオ工業高等専門学校・電気工学科・准教授

研究者番号：10450131