

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 27 日現在

機関番号：52604

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23501040

研究課題名(和文) 創作意欲を喚起する高専導入教科としての簡易電気自動車キットを用いた教育手法の評価

研究課題名(英文) Evaluation of education method for an incentive to creation with electrical cart kit in introduction to electrical engineer class.

研究代表者

齊藤 純 (SAITOH, JUN)

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：40450118

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円、(間接経費) 1,290,000円

研究成果の概要(和文)：ものづくり教育とエネルギー教育を融合した課題解決型教育として、電動カートテーマにした実習の教材キットと教育プログラムの開発および評価を行った。本教育プログラムでは電動カートを学生らが設計して製作する。またこの電動カートを運転する際の加速感と消費電力の計測値から電気エネルギーの定性的かつ定量的な理解を促す。

実習実施後の学生のアンケート結果では9割を超す積極的な参加と、エネルギーの体感的理解の達成を示す結果が得られた。また本教育プログラムを過去に受講した上級生を対象に調査したところ、平均して6割以上が継続して教育効果を実感しているという結果が得られ、本教育プログラムの有効性が明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The experiential education is effective to understand electrical energy for lower grade students. We launched new experiment themes for the education program: "Making electrical cart" in Introduction to electrical engineer class for the first grade. This education program is Project Based Learning that based on manufacturing education and energy education. Students design, manufacture, and drive an electrical cart in this class. By driving feeling and power consumption value, it facilitates quantitative and qualitative understanding of the electrical energy.

From the results of the questionnaire for the upper grade students who had taken this class, more than 60 percent of these students continuously recognize the educational effects. It is shown that the education program is effective as manufacturing education and energy education.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学

キーワード：PBL 体験教育 ものづくり教育 エネルギー教育 エンジニアリングデザイン 導入教育

### 1. 研究開始当初の背景

電気工学関連科目の講義で学生に本質的な内容を理解させることの難しさの要因として、電気工学は不可視の現象を学ぶ分野であるため内容をイメージし難いことが挙げられる。その解決には低学年での学習過程で電気エネルギーの定量的理解とともに定性的理解をさせることが有効であると考えられる。

日本技術者教育認定機構(JABEE)において、種々の科学、技術および情報を利用して社会の要求を解決するためのデザイン能力として「エンジニアリングデザイン」を定義しており、このエンジニアリングデザイン教育は技術者教育を特徴づける最も重要なものであり工業高等専門学校(以下、高専)教育の核をなすものと位置づけられている。このエンジニアリングデザイン能力の基礎力の養成のため、課題解決型教育(Project/Problem Based Learning 以下、PBL)が用いられることが多い。研究代表者は競技用ソーラーカーの開発など様々な課外プロジェクト活動における PBL の指導をしており、その経験から学生自らが乗車する体験が伴うものづくりはエネルギーの定性的・定量的な理解が可能であるとともに、創作意欲や技術的な好奇心と創意工夫を喚起するのに有効なテーマであると捉えている。

本研究では、高専電気工学科の導入教育として、自由な設計で製作できる電動カートの製作と試乗をテーマに、ものづくり教育とエネルギー教育を融合させた PBL を教育プログラムとして開発していくこととした。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、電気工学の実践的技術者育成のために、高専の低学年次における電気エネルギーの定性的かつ定量的な理解を大目標とする教材および PBL の教育プログラムを開発し、その教育手法の効果を明らかにすることにある。またその中でエンジニアリングデザインの基礎教育として、ものづくりに要求される複合的な能力(企画、設計、製作、評価、報告)の育成を図るものとする。実習のテーマは学生らの好奇心や創作意欲を喚起するために、「自由に設計することが出来る電動カートの製作と試乗」とした。

### 3. 研究の方法

#### (1)教育プログラム

教育プログラムは以下の内容の実践と理解を目標に設定して開発する。

- ・グループワークで実践的な創作活動
- ・電気エネルギーの大きさの体感的理解
- ・自分達で企画したものを完成させる
- ・問題点を解決するための工夫と努力をする
- ・丁寧に作業して良い作品を作る
- ・作業過程や作品について報告する

実習は 5、6 名のグループにつき電動カートを 1 台製作する。図 1 に実習の流れを示す。

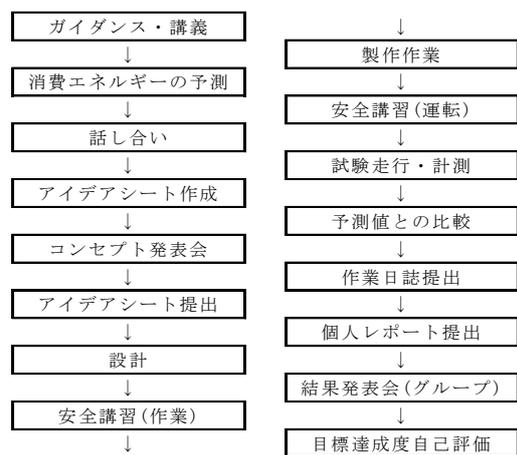


図 1 実習の流れ

ガイダンスにて電力に関する講義の後、この時点で消費エネルギーを予想させる。次にグループごとに車両コンセプトについて話し合わせ、アイデアシートにまとめさせる。その内容をコンセプト発表会でプレゼンテーションさせる。次に具体的に車体を設計し、工作作業に入る。工作作業では作業日誌に新たな発見や問題点、疑問点を逐一記録させる。

車両が完成したら試験走行して消費電力を記録させ、加速感と消費電力を関連付けて電気エネルギーを体感させる。また、消費電力の実測値と予測値を比較させることで感覚と数値とを意識させることで理解の定着を促す。個人レポートはコンセプト設定から完成に至るまでの作業報告と消費エネルギーの測定結果について報告させ、最終的にこれらの内容をまとめてグループ全員でプレゼンテーションさせる。最後に個別に実習目標の達成度を自己評価させる。

#### (2)簡易電気自動車キットと資料

乗車可能な車両を製作する場合、特に操舵機構や駆動機構については製作難易度が高く、学生らに全てを作らせると授業という時間制約から、車両そのものを完成させることが出来ないことが予想される。そこで基本的な走行能力を確保するために、これらの操舵機構や駆動機構などの機能をモジュール化した簡易電気自動車キットを開発する。また、本キットは、学生らが自由に発想した車両を実現するために、多様な構造にも柔軟に対応できるキットであることが求められる。開発した本キットの組み合わせ例を図 2 に示す。教材として学生に説明をしやすくするために、形状はできるだけ簡素なものとして部品



図 2 キット組み合わせ例

ごとに色を塗り分けた。本キットの部品を組み合わせて機能モジュールを構成し、これを適切に車両に配置することで乗車可能な車両を容易に製作することができる。

本キットは部品の組み合わせが多岐に渡る。またその作業は安全性に関わる重要項目である。実習では組み立て方を何度も繰り返し説明することになり、この説明時間は指導時間の多くを占めてしまうという課題も挙げられる。安全確保・指導の高効率化・教育プログラムと教材の汎用化という観点から、図3のようなキット組立資料を作成した。同資料では部品の組み合わせや締結方法を詳細に図示し、ボルトやナット類を実寸表示して組み立て時の間違いを抑制している。

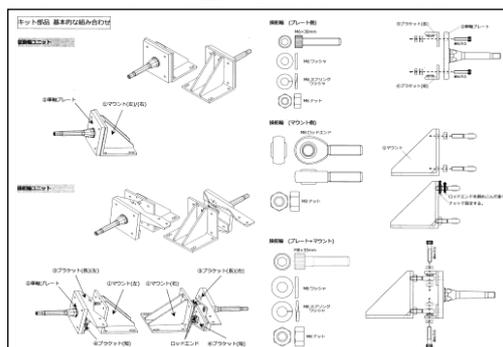


図3 組立資料(一部抜粋)

試乗中の運転者の安全を確保するために遠隔遮断できる機能をモータドライバに付与した。これにより監督者が持つ送信機の操作で駆動電源を遠隔遮断することが出来る。

### (3)教育効果の測定

本教育プログラムの教育効果を測定するために、実習終了後に学生らを対象に満足度と実習目標の達成度を調査するアンケートを実施する。さらに教育効果の持続性を評価するために、受講後から時間が経過した上級生に対してもアンケートを実施する。対象は2013年度における2~5年生とし、実習自体の記憶や実習での経験が現在の学習に与える効果を調査する。

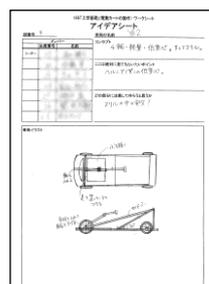
### (4)教育プログラムの汎用性の評価

体感によるエネルギー教育は理解するのに複雑な理論に依らないことから、小中学生への教育にも応用できる。そこで、理系や工学への興味付けや電気エネルギーの定性的理解を目的として、本教育プログラムの主要要素のみを抽出した縮小版として公開講座を実施する。参加者の反応やアンケート結果より、その縮小版教育プログラムの教育効果と汎用性を評価する。

## 4. 研究成果

### (1)教育プログラム

まず実習での学生が製作した作品例を記す。企画段階で図4(a)のアイデアシートを作成した。これをもとに車両を設計して同図4(b)の車両が完成した。概ねアイデア通りの



(a) アイデアシート (b) 製作された車両

図4 作品例



(a) 二人乗り車両

(b) コンパクトな車両



(c) 低重心車両

(d) 三輪二人乗り車両

図5 特徴的な作品例

車両が製作できていることがわかる。その他の特徴的な作品例を図5に紹介する。

最初のガイダンスと講義の後に、あえて想像だけで15[km/h]走行時の消費電力を予測値と電気エネルギーのイメージを回答させるアンケートを実施した。消費電力の予測値は図6に示すように全体的に高い値で分布している。製作された車両の消費電力は車両の仕上がりによって差異はあるが、加減速時を含めて15[km/h]走行時に100~250[W]程度での走行ができる。参考に図7に後述する組み立て式電動カートの消費電力を示す。消費電力を高く予想するこの傾向は、日常において電気エネルギーを過小に認識しているか、あるいは物を動かすために要するエネルギーを過大に認識していることを示しているものと考えられる。ゆえに予想値と実測値との差

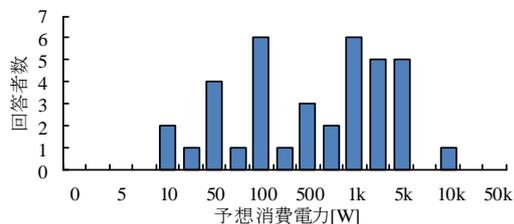


図6 電動カートの走行時消費電力の予測値

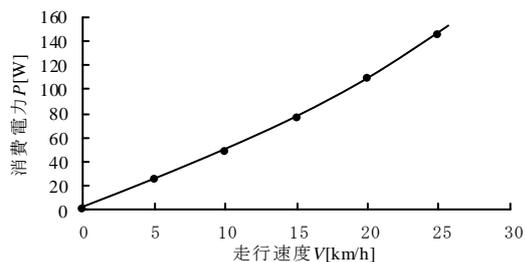


図7 公開講座用電動カートの消費電力

異から、体感で得た感覚を定量的に評価することが重要であり、適正な感覚を養うことと理解を促すことに効果的であると考え。表1に実習前後のアンケートで質問した電気エネルギーのイメージの回答を一部抜粋したものを示す。実習後の内容が、発生する力の大小についてのコメントに変化しており、予想値よりも少ない消費電力で走行できたことを実感できている様子が見取れる。

表1 電気エネルギーのイメージ(抜粋)

|     |  |  |
|-----|--|--|
| 実習前 | 熱、光、音というイメージ<br>万能のエネルギー<br>あまり想像できなかった<br>あまり大きな力は出せない<br>便利だが危ないもの     | 何も感じていなかった<br>ビリビリするもので物を動かす<br>あまり想像できなかった<br>怪しいエネルギー<br>無ければならないもの            |
| 実習後 | 動きで体感できた<br>運動するエネルギーにもなる<br>予想より力が強かった<br>とても速く走ったので驚いた<br>正しく使わないといけない | 人の役に立つエネルギー<br>機械を動かすエネルギー<br>人間以上の力を発生できる<br>電気エネルギーの大きさに驚いた<br>消費電力は使うものによって違う |

## (2)簡易電気自動車キットと資料

正課授業で実施する実習テーマとしては、車両を時間内で完成させられることが望ましい。そこで学生が記録した作業日誌より平均作業時間の内訳をまとめ、教材で改善できる項目を明らかにする。簡易電気自動車キットの試作品で実施していた2010年と本研究期間の2011年での作業時間と作業内容を図8に示す。2010年度の総作業時間は平均38.5時間(正課授業13.5時間、課外作業25時間)を要した。車輪・ブレーキの取り付けと調整作業が47%を占める。これは試作品の車輪まわりの精度が低かったことが原因として挙げられる。本研究期間である2011年度以降ではキットの全ての部品を再設計して製作しなおした。部品精度の向上や組みやすさの向上により作業時間を大幅に縮小でき、当該部品の作業時間は11.5%にまで削減できた。総作業時間も平均27時間(正課授業18時間、課外作業9時間)に短縮できた。本教育プログラムの試行期間であった2009年度から数えて30台を走行可能状態で完成させていることから、本キットはさまざまな設計に対応できる柔軟性を有していると考え。

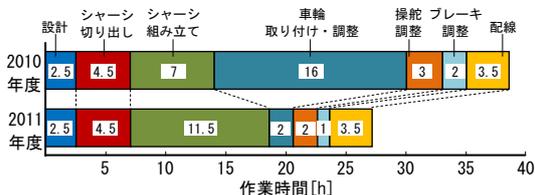


図8 作業内容と作業時間

キット組立資料については、図3に示すようにボルト類を実寸で表記した。この図に実物を重ね合わせて確認することができる。本資料の導入により学生がキットを間違えて組み立ててしまう件数を削減でき、結果として安全性を向上することができた。あわせて口頭説明の頻度と時間を削減できたことで実質的な技術指導にあたる時間を多く確保できるようになった。

## (3)教育成果の測定

アンケートでは満足度と実習目標に対する達成度を自己評価させた。図9、10の結果では満足度は高評価を得ており、実際の実習中でも学生の積極的な取り組みが見られた。

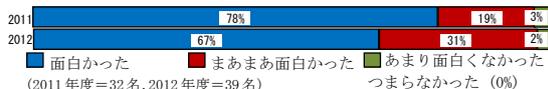


図9 アンケート結果(満足度)

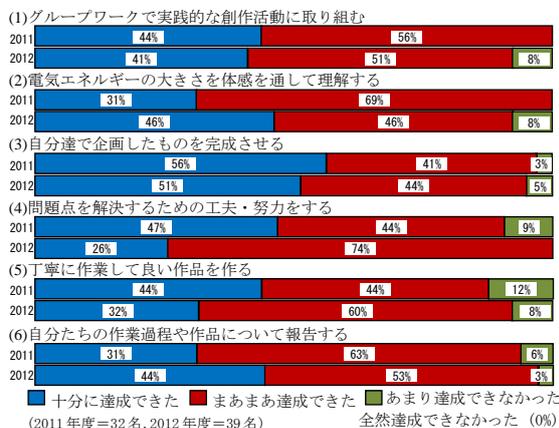


図10 アンケート結果(目標達成度の自己評価)

目標の達成度は全項目で概ね90%以上の達成度であると自己評価している。成績評価をする際に、研究代表者が個人々の取り組みを観察して評価するが、その評価と学生の自己評価は概ね相関関係があった。よって図10の自己評価は妥当性があるものとする。このことから、学生は目標を意識して本実習に取り組み、諸能力の成長を自覚できたものとする。

次に教育効果持続性の調査の対象学年を表2に示す。2010年度以前は試行期間であったため、車両を構成するキットの精度が悪く、カートを組み立てて試乗することで精一杯で、教育プログラムの内容は十分に精査されていなかった。特に2010年度については製作に多くの時間を要し、結果の振り返りをする時間を確保できなかった経緯がある。2011年度以降は本研究期間に該当し、教材キットの精度も向上し、教育プログラムも前述した内容に移行している。

表2 教育効果持続性の調査の対象

| 学年       | 2年生  | 3年生  | 4年生  | 5年生  |
|----------|------|------|------|------|
| 回答者数     | 38   | 32   | 32   | 21   |
| 受講年度     | 2012 | 2011 | 2010 | 2009 |
| 教育プログラム  | 研究期間 | 研究期間 | 試行期間 | 試行期間 |
| 教材       | キット  | キット  | 試作品  | 試作品  |
| 試走後の振り返り | ○    | ○    | ×    | ○    |

アンケートの内容は実習内容についての記憶の有無と、今学んでいる勉強に役立っているかを質問している。回答を図11に示す。問(1)、(2)の実習内容や運転感覚は全体的に69~94%と高い割合で覚えているという回答を得た。問(3)の、実習での経験は今の勉強に役立っているのかという質問については、

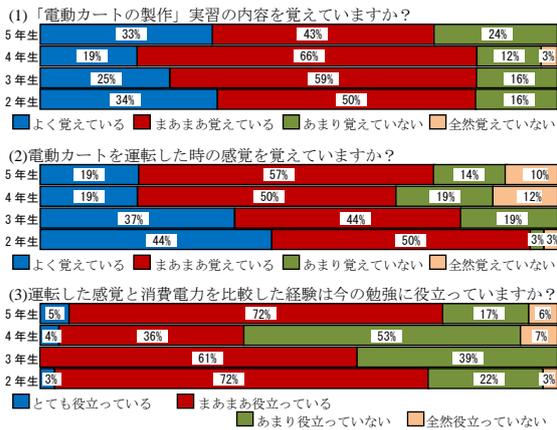


図 11 アンケート結果(教育効果の持続性)

学年によって回答が二分された。2、3、5年生は役に立っているという回答が75%、61%、77%であった。具体的なコメントには「モータの消費電力の見当がつくようになった。」「座学だけでなく体験することでイメージがしやすくなった。」といったものがあった。逆に「イメージの使い方がわからなかった。」というコメントもあり、これについては他の科目との連携を検討していきたい。4年生だけは40%という低い回答となった。この背景として前述のように同年度は結果の振り返りなどの時間が確保できなかった。そのため理解の定着が進まなかったことによるものとする。これらのアンケート結果より、学生は本実習には非常に高い割合で積極的に参加しているが、作業のみでは重要なことが記憶に残らず、十分な教育効果が得られていないことが分かる。教育プログラムの構成としては、作業前後を含めて実測値や感覚を測定結果としてまとめ、振り返ったり発表したりすることで物事を整理させることが理解度の向上と定着には必要であるとする。

(4)教育プログラムの汎用性の評価

本研究の教育プログラムを応用して、小中学生向けの電気エネルギー体験教育プログラムとして公開講座を実施した。公開講座の内容は、教育プログラムの電気エネルギーの定性的理解とものづくりの要素を抽出して構成した。実施した講座を表3にまとめる。

表 3 実施した公開講座

| 実施年度     | 対象者             | 受講者数                 | 講座内容     |         |
|----------|-----------------|----------------------|----------|---------|
|          |                 |                      | エネルギーの理解 | ものづくり体験 |
| [1] 2012 | 小学生4,5,6年生(希望者) | 10名                  | ○        | —       |
| [2] 2012 | 中学生2,3年生(クラス単位) | 28名(2年生)<br>19名(3年生) | ○        | —       |
| [3] 2013 | 中学生1,2,3年生(希望者) | 17名                  | ○        | ○       |

それぞれの講座では参加者に事前に消費電力を予想させ、試験走行後に実測値と比較させる。メータには走行中の消費電力と同程度の消費電力の家電製品名を表示する工夫をした。数値で表現される消費電力の大きさを日常的に使用する家電製品に置き換える

ことでイメージしやすくする狙いがある。公開講座[1],[2]は電気エネルギーの体験学習として実施した。講座の前半は電気エネルギーの概要や電力の計算などを説明し、後半は電動カートを試乗する90分構成とした。講座用カートは図12に示す車両で、メータ表示は図13のように速度・消費電力に加えて同程度の消費電力の家電製品名を表示した。



図 12 公開講座用 電動カート 図 13 メータ表示

表 4 公開講座 アンケートの代表的な回答

|     | 小学生 4,5,6年生                      | 中学生 2,3年生  |
|-----|----------------------------------|--|
| 講座前 | 電気エネルギーについて、どのような感想をもっていますか(授業前) | 興味なかった<br>生活に必要なもの<br>色々なものを動かすことができる                        |
| 講座後 | 電気エネルギーについて、どのような感想をもっていますか(授業後) | 興味を持った<br>便利なもの<br>生活に必要なもの、大切なものである                         |
| 講座前 | 本授業を受けて面白かったことは何ですか              | カートに乗ったこと<br>カートに乗ったこと<br>電気やエネルギーについて分かった<br>電気自動車とガソリン車の違い |
| 講座後 | 電気エネルギーの大きさを知っている、どのように役立ちそうですか  | 電力使用量がわかれば節電できる<br>環境を良くすることができる                             |
| 講座前 | 電気エネルギーについてカートに乗った後の感想           | 速かった<br>力強かった<br>エネルギーが分かった                                  |
| 講座後 | 電力使用量がわかれば節電できる                  | 環境を良くすることができる  |

講座前後で実施したアンケートの記述式質問で得られた代表的な回答を表4記す。公開講座[1]の参加は希望制であったのに対し、公開講座[2]はクラス単位の全員参加だったので参加者の受講に対する初期のモチベーションは高くはなかった。それでもアンケートでは両講座ともに全員から面白かったという回答を得た。またカートを試乗した生徒の98%から電気エネルギーの大きさを体感的に理解できたという回答が得られた。

公開講座[3]は本教育プログラムのものづくり教育とエネルギー教育の要素を抽出した縮小版として実施した。本講座は7、8名のグループワークで電動カートを2日間で組み立てて試乗する。講義では電気エネルギーの概要と走行車両の消費エネルギーの概要を説明する。使用する組み立て式の車両を図14(a),(b)に示す。また、車外からでもリアルタイムにエネルギーの推移を観察できるようにするために、テレメータを導入して図15のように速度と消費電力と同程度の消費電力である家電製品名を視覚的に表示するシステムを開発した。



(a) 主要構成部品 (b) 完成状態 図 14 組み立て式電動カート

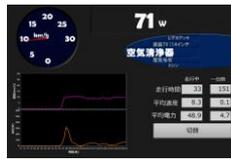


図 15 テレメータ画面

作業では簡易電気自動車キットの組み立て資料を用いることで、参加者主体の作業でも大きな間違いもなく順調に組み立てることができた。試験走行中は、テレメータの表示によりエネルギーの推移を車外から落ち着いて観察できるようになったことで、電動カートの省エネルギー走法についてのアドバイスを求める参加者が多かった。

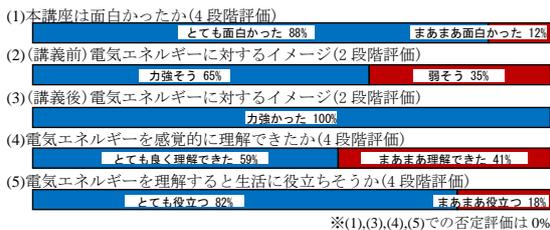


図 16 アンケート結果(公開講座[3])

講座前後で実施したアンケートで得られた結果を図 16 に記す。これらの結果では全ての項目で肯定的な回答が得られた。消費電力を数値だけでなく家電製品に置き換えてイメージできるようにしたため、問(4)も電気エネルギーの定性的な理解が参加者にとって有益であるという回答が得られた。多くの参加者から「自宅でも家電製品と比べることが出来そう。」というコメントを得た。

どの公開講座でも参加者の積極的な参加が見られ、アンケート結果は回答がほぼ全てが肯定的なものであった。さらに公開授業[3]での参加者 17 名のうち、3 名が翌年度に研究代表者が所属する学校に入学したことを付け加える。これらのことより、理系や工学への興味付けや電気エネルギーの定性的理解といった公開講座の主目的を達成することが出来ているものと考えられる。

本教育プログラムをベースすることで、講座の目的に応じてエネルギー教育にも、ものづくり教育にも重点を置くことが可能である。公開講座の実践を通じて、本教育プログラムの柔軟性を明らかにすることができた。

#### (5) まとめ

本研究の主たる目的は、電気工学の導入教育として学生に電気エネルギーを定性的かつ定量的に理解させるとともに、エンジニアリングデザインの基礎力を育成する PBL の教育プログラムを開発し、それを評価することにある。はじめに本教育プログラムで用いる簡易電気自動車キットを開発した。基本部品を組み合わせることで機能ユニットを構成でき、乗車可能な電動カートを容易に製作することができる。これまでに学生の設計による車両 30 台を走行可能状態で完成させた

実績から、本キットは高い柔軟性を有していると考えられる。現在、今後の市販化を視野に入れた検討を行っている。

本教育プログラムはものづくり教育、エネルギー教育、エンジニアリングデザイン基礎教育の 3 要素で構成される。これらの教育効果は学生による成果物やアンケートの結果より、目的を概ね達成しているものと考えられる。上級生への調査で、低学年次に電気エネルギーを定性的かつ定量的に理解することは、勉強面でも継続的な有効性であるという結果を得た。電気エネルギーを定性的かつ定量的に理解させる手法としては、電動カートの運転中の加速感と消費電力を関連付けさせ、予想値と実測値との差異から、体感で得た感覚を定量的に評価することが重要である。さらに理解の定着を促すにはレポートや報告会などの振り返りの作業をさせることが必要であることが明らかとなった。また本教育プログラムは正課授業での実習だけでなく、公開授業などにも対応可能な柔軟性を有していることが実践を通じて明らかとなった。

今後は本教育プログラムの普及をめざし、研究代表者以外による指導でも運用できるように、教材と資料の充実を図りたい。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

①齊藤 純、低学年における新たなものづくり教育の取り組み、サレジオ工業高等専門学校研究紀要第 36 号、査読無、2011、pp.69-71

〔学会発表〕(計 4 件)

①齊藤 純、高専導入教材としての簡易電気自動車キットを用いたものづくり教育 その 2-教育プログラム改良による教育効果の考察と小中学生対象出張授業への適用一、日本工学教育協会、2013.8.29、新潟大学

②齊藤 純、高専導入教材としての簡易電気自動車キットを用いた教育プログラムの提案、全国高専教育フォーラム、2013.8.21、豊橋技術科学大学

③齊藤 純、高専導入教材としての簡易電気自動車キットを用いたものづくり教育、日本工学教育協会、2012.8.22、芝浦工業大学

④齊藤 純、サレジオ高専におけるものづくり教育の一事例 その 2-自由な発想で製作できる電動カートキットを用いたものづくり教育-、日本工学教育協会、2011.9.9、北海道大学

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

齊藤 純 (SAITO, Jun)

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：40450118