

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：53301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350302

研究課題名(和文) スマートグリッドのエネルギーマネジメントに基づくパワエレ学習支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of a Learning Support System of Power Electronics based on Energy Management of Smart Grid

研究代表者

上町 俊幸 (Kamachi, Toshiyuki)

石川工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：50280334

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：電力設備や鉄道などのインフラ設備には、パワーエレクトロニクスの技術が必要不可欠であり、この分野の技術者の育成は重要なテーマとなっている。本研究では、パワーエレクトロニクス技術の応用例の一つである、スマートグリッドを題材とした学習支援システムを開発した。開発された学習支援システムは、eラーニング教材、実験教材、シミュレーション教材で構成される。学生は、太陽光発電シミュレータ、風力発電シミュレータおよび簡易型実験装置を用いた実験により、電力変換回路の原理を学習することができる。また、スマートグリッドのシミュレーションを通して、パワーエレクトロニクスの必要性を学習することができる。

研究成果の概要(英文)：Power electronics technology is essential to infrastructure equipment such as power facilities and railways, and training of the engineer of this field becomes the important theme. In this study, the learning support system based on the smart grid, which is one of the application of the power electronics technologies, is developed. The developed learning support system consists of the e-learning teaching materials, the experiment teaching materials, and the simulation teaching materials. The student can learn principle of the power conversion circuits by the experiment using a solar power simulator, a wind power generation simulator and the simple experimental equipment. In addition, through the simulation of the smart grid, students can learn the necessity of the power electronics.

研究分野：パワーエレクトロニクス

キーワード：パワーエレクトロニクス 学習支援 eラーニング 実験教材 シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

(1) パワーエレクトロニクス(以下、パワエレ)の技術は、電力設備や交通網などのインフラ設備をはじめ、様々な分野で利用され、我が国の生活基盤を支える重要な役割を果たしている。このことから、パワエレ技術を習得した技術者の育成は、我が国の将来にとって非常に重要な課題である。しかし、パワエレは多岐にわたる分野の複合技術で、幅広い専門知識が要求されるため、初学者には学習が難しい技術分野である。そのため、初学者でも効率よく、かつ興味を持ってパワエレの学習ができる学習支援システムの開発が望まれている。

(2) 高専や大学におけるパワエレの講義では、授業時間数の制約上、アプリケーションにより構成が大きく変わることのない電力変換回路の主回路構成を中心に学習する。しかし、学生の興味・関心はアプリケーションごとに様々に変化する制御法や、そのような制御をする理由などにあり、学生の興味と講義内容との間にミスマッチが生じている。そこで、数多くあるパワエレのアプリケーションの中でもスマートグリッドに焦点を絞り、これを題材とした学習支援システムを開発することで、主回路から制御法に至るまで、より深く、興味を持って学習できるとの着想に至った。

(3) 国内外の研究動向として、文献①では、風力発電や太陽光発電を用いてポンプ等を動かし、いかに多くの仕事をさせるかというエネルギーマネジメントを導入した実験を取り入れている。しかし、使用する回路がDC-DC変換に限定されている。一方、文献②では、負荷に応じて適切なチョップ回路を学生が自ら選択する実験が取り入れられているが、エネルギーマネジメントの考えは導入されていない。そこで、スマートグリッドを題材とすることで、エネルギーマネジメントの考えを導入することができ、同時に、学生が自ら回路を選択する実験も実現できると考えた。

2. 研究の目的

(1) スマートグリッドを直流送電と仮定することで、直流-直流変換(DC-DC変換)、直流-交流変換(DC-AC変換)、交流-直流変換(AC-DC変換)といった、これまでの講義内容の大部分を網羅することができる。また、エネルギーマネジメントを導入することも可能となる。そこで、スマートグリッドを題材とし、これまでの講義内容に準じた学習支援システムの開発を目的とした。

(2) 開発する学習支援システムは、①eラーニング教材、②実験教材、③シミュレーション教材の三つの部門から構成されるものとした。

①eラーニング教材は、学習する内容が視覚的にイメージしやすいよう、グラフィカルな学習スライドで構成する。また、学習スライドで学習するごとに、学習内容の理解度を確認できる到達度確認テストを開発する。

②スマートグリッドの実験として、太陽光発電や風力発電から電力網へ電力を受け渡す実験を開発する。この実験では、適切な電力変換回路(降圧チョップ、昇圧チョップ、昇降圧チョップ)を学生自らが選択し、それを構成して実験を行い、動作などを確認する。このとき、選択した電力変換回路を、工具を使わず手軽に構成できるように、簡易型実験装置を開発する。

③スマートグリッドのエネルギーマネジメントには、ゲーム的な要素があるため、学習に興味を持たせることができる。そこで、パワエレ技術の必要性や有効性も合わせて理解できるような、エネルギーマネジメントのシミュレーション教材を開発する。

3. 研究の方法

(1) 本研究で開発する学習支援システムは、①eラーニング教材、②実験教材、③シミュレーション教材の三つの部門で構成される。これら三つの部門について、以下のように開発する。

① eラーニング教材は、理論解説を自分のペースで読み進めることができるよう、パワーポイントのアニメーション機能を使った学習スライドを開発する。これは、図や写真などを使って視覚的にイメージがしやすいものとするとともに、スマートグリッドと関連づけた内容で構成する。また、解説スライドによる学習のあとで、到達度確認テストにより自分の理解度を確認できるように、eラーニングシステムのWebClassを利用し、到達度確認テストを開発する。

②スマートグリッドの実験では、太陽光発電や風力発電を用いた実験を行う。しかし、いずれも発電量が気象条件に左右されるため、気象条件に左右されず、いつでも実験が実施できるように、太陽光発電シミュレータおよび風力発電シミュレータを開発する。また、これらのシミュレータの電力を、電力網へ受け渡すための電力変換回路を、学生が手軽に、短時間で構成できるように、簡易型実験装置を開発する。

③シミュレーションでは、分散型電源の太陽光発電、風力発電と、遠方にある火力発電所を想定し、これらの電力供給量と、需要家による電力需要量のデータから、効率良く電力を供給できるように電力変換器を制御することを考える。そのためのシミュレーションプログラムを開発する。

4. 研究成果

(1) 学生がeラーニングによりパワエレの理論を自学自習できるよう、学習スライドを開発した。学習スライドの内容は、・インダクタンスとキャパシタンスの性質、・スイッチ回路、・パワー半導体デバイス、・DC-DC変換、・チョッパの制御、・DC-AC変換となっている。図1に、学習スライドの一例を示す。この学習スライドは、回路や波形などの図を多く用いて、視覚的にイメージしやすいよう作られている。また、アニメーション機能を使うことで、学習者が自分のペースで読み進められるように構成されている。

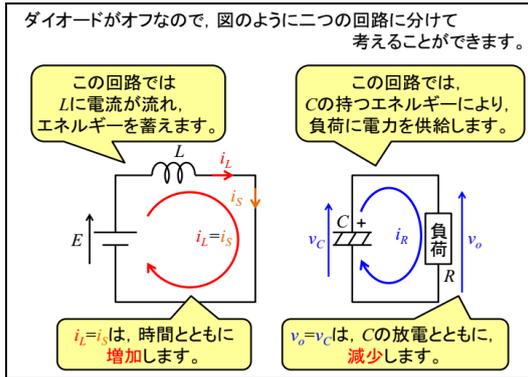


図1. 学習スライドの一例

また、学習スライドを使った自学自習のあとで、理解度を確かめるように、到達度確認試験をWebClass上に開発した。図2に、到達度確認試験の一例を示す。到達度確認試験は正答を選択肢の中から選ぶ方式で、基本的な内容が、知識として定着したかどうかを確認する簡単なものとした。

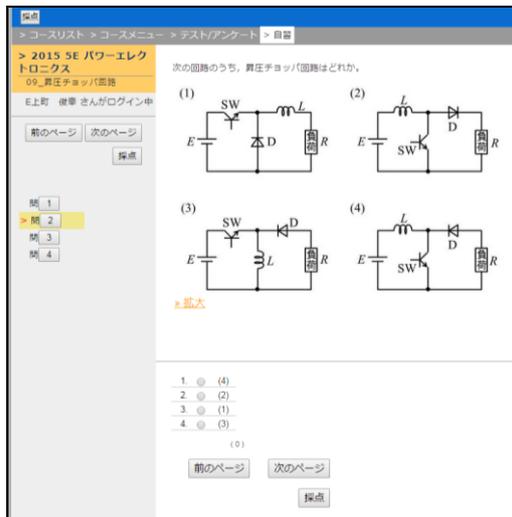


図2. 到達度確認試験の一例

(2) パワエレの講義において、アクティブラーニング型の授業ができるよう、アクティブラーニング教材を開発した。アクティブラーニング教材は、理論解説用のスライド、演習問題、到達度確認テストから構成される。学習内容は、(1)で開発した学習スライドの内容に加え、・AC-DC変換、・AC-AC変換も含

まれており、これまでの授業の内容を全て網羅している。これを平成28年度の授業で使用した結果、学生からの反応は良好であり、授業に取り組む姿勢や、理解度も、これまでの授業と比較すると、大幅に改善された。

パワエレの授業で教科書として使用される書籍の殆どは、演習問題が少ない。また、パワエレの問題集のような書籍も発行されていない。本研究で開発したアクティブラーニング教材には、多くの演習問題が含まれており、国内でも稀なパワエレ学習用の問題集として利用できる。

学生の学習に対する集中度、理解度を見ると、アクティブラーニング型授業は非常に有効であることが分かった。そのため、今後も改良を続け、完成度を高めるとともに、(1)で開発した教材に代わるeラーニング教材として発展させる予定である。

(3) スマートグリッドの実験として、分散型電源である太陽光発電から電力網へ、電力の受け渡しをする実験を行う。しかし、実際の太陽電池の発電量は天候によって左右されるため、太陽光発電を模擬したシミュレータを開発した。この太陽光発電シミュレータは、与えられた照射量データに基づいて太陽電池のV-I特性を模擬するもので、降圧チョップ回路で構成される。照射量データとチョップパの出力電流 I_o から太陽電池のV-I特性のテーブルを参照し、適切な電圧 V_o が出力されるよう降圧チョップパを制御する。図3は、開発したシミュレータにより再現した、太陽電池のV-I特性を示している

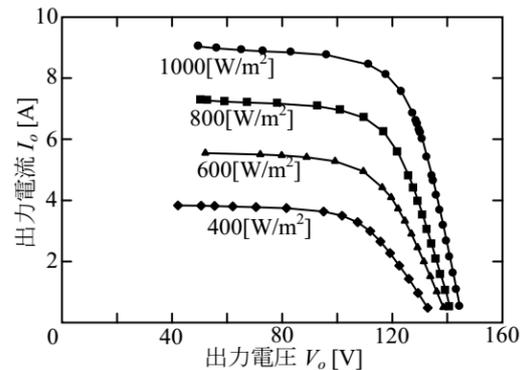


図3. 太陽光発電シミュレータの実験結果

(4) スマートグリッドの実験において、風力発電も分散型電源として使用できるが、太陽電池と同様に、風力発電の発電量は天候によって左右されるため、風力発電を模擬したシミュレータも開発した。この風力発電シミュレータは、半径 $R=1.68[m]$ 、受風面積 $A=3.94[m^2]$ のサボニウス形風車と直流発電機を組み合わせた発電システムを模擬するものである。与えられた風速 v と検出した負荷電流 I_a から、風車の特性方程式に従って風車トルク T_w 、風車出力 P_w 、角速度 ω および端子電圧 V_a を演算し、演算した端子電圧に実際の端子電圧 V_a が一致するよう、降圧チョップ

のデューティ比を制御する。図4は、シミュレータの出力端に $R_L=5.68[\Omega]$ の抵抗を接続し、 $v=6[\text{m/s}]$ の風がステップ状に与えられたときの動作結果を示している。

これまで、モータと発電機を用いた風力発電シミュレータは開発されているが、本研究で開発した装置は、モータと発電機を使用せず、降圧チョップのみで構成される。モータと発電機を使用しないため、小型で持ち運びが容易なうえ、巻き込みの危険もなく、学生実験に適したものとなった。

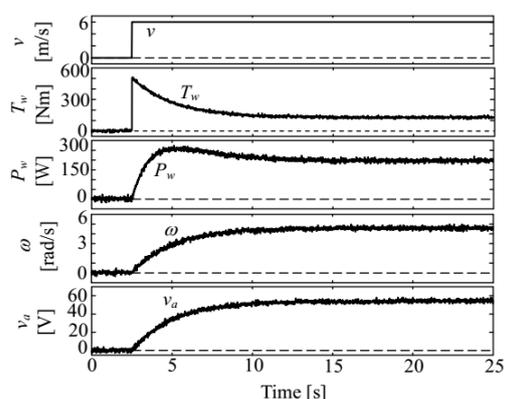


図4. 風力発電シミュレータの実験結果

(5) 太陽光発電シミュレータおよび風力発電シミュレータを分散型電源とみなし、これらの出力を電力網に送ることを想定し、DC-DC変換回路の実験を行う。実験では、降圧チョップ、昇圧チョップ、昇降圧チョップのうち、適切な回路を学生が選択し、構成する。図5は、簡易型実験装置の外観である。各チョップの構成部品が同じであるため、部品ごとにケースに入れ、コネクタにより工具を使わず簡単に組み換えられるよう実験装置を構成した。また、チョップ回路の動作を理解しやすいよう、各素子の電流を観測するための電流センサを内蔵している。さらに、チョップの制御は、オープンループ制御に加え、マイコンを用いたフィードバック制御も可能とした。太陽光発電や風力発電では、最大出力となる動作点が存在するため、最大電力追従制御(MPPT)が用いられる。この簡易型実験装置でもマイコンを使ってMPPTの実験をすることが可能であり、このような制御法についても学習することができる。

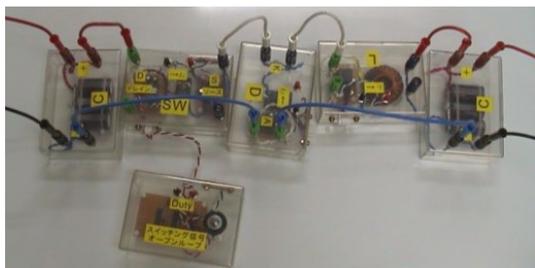


図5. 簡易型実験装置の外観

分散型電源のシミュレータと電力変換回路の実験装置が一通り完成したので、今後は、

これらを使用した実験の内容を検討し、実際に学生実験に導入していく予定である。

(6) スマートグリッドのエネルギーマネジメントに関するシミュレーション教材を開発した。これは、火力発電所と風力発電所および需要家(負荷)からなる電力網を想定し、風力発電出力を電力網に送る電力変換器を制御するものである。図7は、開発したシミュレーション教材の画面を示している。風速や負荷など、与えられた状況に対し、風車の最適動作点や電力損失などを考慮して制御する必要があり、パワエレ技術の必要性、有効性が理解できる。现阶段では、風速や負荷は一定と仮定しているが、今後は、風速や負荷を実際のデータに基づいて時々刻々と変化させ、ゲーム的な要素を強くして、学生の興味を引き出すよう発展させる予定である。

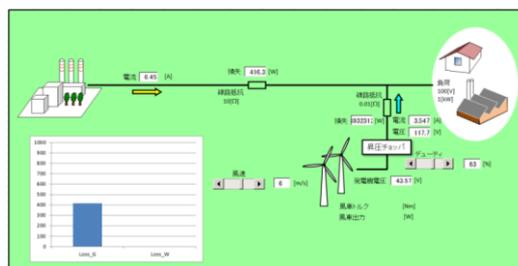


図7. シミュレーション教材の画面

<引用文献>

- ① P. Bauer, J. W. Kolar :
“Teaching Power Electronics in the 21st Century”,
EPE Journal, Vol.13, No.4, pp.43-50 (2003)
- ② 木村紀之, 森實俊充 :
「パワーエレクトロニクス技術を含めた学生実験の提案」,
平成23年電気学会産業応用部門大会, 1-S5-4,
pp.I-11-I-14 (2011)

5. 主な発表論文等

- [学会発表] (計 2件)
- ① 上町 俊幸 :
「スマートグリッドを題材としたパワエレ学習支援システムの開発(第1報)」,
平成27年度電気関係学会東北支部連合大会,
2H03 (2015.8)
 - ② 上町 俊幸 :
「学生実験用風力発電シミュレータの開発」,
平成29年電気学会全国大会,
1-013, p. I-17 (2017.3)

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
上町 俊幸 (KANMACHI, Toshiyuki)
石川工業高等専門学校・電気工学科・
准教授
研究者番号 : 50280334