

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：53301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03075

研究課題名（和文）ICTによりアクティブラーニング型授業の支援も可能なパワーエレクトロニクス学習支援システム

研究課題名（英文）Learning support system for power electronics that can support active learning-type classes using ICT

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・教授

研究者番号：50280334

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：発電機、電動機、変圧器などの電気機器は、発電設備、交通機器、産業機械など、様々な所に用いられ、我が国の生活基盤を支える重要な機器である。したがって、これらの機器に精通したエンジニアを育成することは、我が国の将来にとって重要な課題である。

本研究では、学生が電気機器の動作を見ながら深く学習できるよう、ICT技術を用いた遠隔操作型の実験装置を開発し、その有効性について検証した。また、パワーエレクトロニクスの実験が手軽にできる実験教材も開発した。さらに、この実験教材と、開発したeラーニング教材を組み合わせた実験を実施し、アンケート調査によりeラーニング教材および実験装置の有効性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、教室に持ち運ぶことのできない大型の機器に対して、遠隔操作で実験を実施し、その様子を観察することで、実感を伴いながら学習することができる学習支援システムを開発した。また、授業中に実験をすることで、機器の動作をイメージすることができ、理解が深まるというアンケート結果が得られており、実験を取り入れた学習の有効性を確認している。このような遠隔実験は、電気機器に限らず、様々な分野に応用できるため、あらゆる分野における学習意欲や理解度の向上、知識の定着に貢献できると考える。

研究成果の概要（英文）：Electrical machinery such as generators, electric motors, and transformers are used in various places such as power generation and substation facilities, transportation equipment, and industrial machinery, and are important devices that support the infrastructure of our nation's daily life. Therefore, educating engineers with expertise in these devices is an important issue for the future of our country.

In this study, a remote-controlled experimental device using ICT technology was developed to enable students to check the operation of electrical machinery while learning, and the effectiveness of this device was verified. Experimental materials were also developed to facilitate experiments in power electronics. Furthermore, an experiment combining these experimental materials with e-learning materials was conducted, and the effectiveness of the e-learning materials and experimental apparatus was verified through a questionnaire survey.

研究分野：パワーエレクトロニクス

キーワード：学習支援 eラーニング 遠隔操作実験 直流電動機 チョップパ回路

1. 研究開始当初の背景

発電機・送配電設備における発電機、変圧器や、交通機器、産業機械、家庭電化製品における電動機は、我が国の生活基盤を支える重要な役割を担っている。中でも電動機は、その使用電力量が日本の電力需要の約 50 % を占めほど大量に使用されている。これら発電機、変圧器および電動機の効率を改善し、かつパワーエレクトロニクス技術等を用いて効率的に運用することは、環境問題への対策として非常に重要である。以上のことから、発電機、電動機、変圧器などの電気機器や、パワーエレクトロニクスに精通したエンジニアを育成することは、確固とした生活基盤の確立、低炭素化社会の実現のために重要な課題である。

一方、社会の少子高齢化、グローバル化、高度情報化に対応するため、知識を活用し、問題の発見・解決ができる人材を育成することが、学校教育に要求されるようになってきている[1]。このことから現在では、小学校から大学まで、アクティブラーニング(AL)が導入されている[1][2]。

2. 研究の目的

本研究では、情報通信技術(ICT)を用いて、電気機器の AL 型授業を支援するための学習支援システムの構築を目的としている。電気機器の学習において、実際の構造や動作を見ながら学習することは有効であるが、発電機や電動機といった電気機器は大型で大重量であるため、教室に持ち運んで実験することができない。そこで、ICT 技術を活用し、電気機器を教室に持ち運ぶことなく、学生が実際の構造や動作に触れながら、深く「学び合い」ができる遠隔操作型の実験装置を構築し、その有効性について検証する。また、パワーエレクトロニクスの座学の授業の中で、手軽に実験による検証ができる実験教材を開発する。さらに、電気機器の AL 型授業や実験等を使用する e ラーニング教材の開発に取り組む。

3. 研究の方法

ICT を用いた電気機器の実験教材として、教室のタブレット PC を用いて実験室にある直流電動機を動作させ、そのときの電圧や速度が観測できる遠隔操作型実験装置の開発に取り組んだ。しかし、実験の変更が手間がかかるといった問題があったため、新たに OpenPLC を用いた直流電動機の遠隔操作型実験装置を開発し、その有効性についてアンケート調査で検証した。

パワーエレクトロニクスの実験教材として、手軽に降圧、昇圧、昇降圧チョッパが構成できるチョッパ回路学習用実験装置の開発に取り組んだ。

e ラーニング教材として、パワーポイントを用いた電気機器やパワーエレクトロニクスの解説スライドの開発に取り組んだ。これは、各自のペースで読み進めるものであったが、ここに音声による解説を加え、より詳細な説明ができる教材の開発にも取り組んだ。

開発したチョッパ回路実験装置による実験を体験してもらうとともに、開発した e ラーニング教材を予習に使用してもらい、これらの教材の有効性をアンケートにより検証した。

4. 研究成果

(1) 直流電動機の遠隔操作型実験装置の開発

図 1 は、直流電動機の遠隔操作型実験の概略を示している。教室のタブレット PC から実験室の通信用マイコンへ、Wi-Fi を介して電機子電圧 V_a や界磁電流 I_f の指令値を送る。指令値は制御用マイコンに送られ、制御用マイコンは、受け取った指令値に従って V_a や I_f を制御する。実験の様子や計測値は、教室のタブレット PC に送られ、これをスクリーンに映し出すことで、教室にいながら実験を体験することができる。本研究では、実験室で使用する直流電動機の制御装置と、教室で使用するタブレット PC 用のアプリを開発した。図 2 は、タブレット PC のアプリの画面である。ボタン操作による実験の開始・停止や、電機子電圧 V_a や界磁電流 I_f の指令値の設定ができる。また、実験の様子が分かるようにビデオ映像を画面に表示するとともに、実験で得られたデータをグラフで表示することができる。

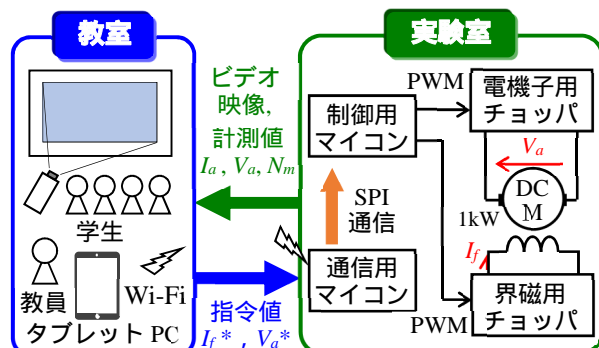


図 1：直流電動機の遠隔操作型実験装置の構成



図 2：操作作用アプリの画面

(2) OpenPLC を用いた直流電動機の遠隔操作型実験装置の開発

(1)で開発した実験装置は、実験を変更するたびに制御用マイコン、通信用マイコンの制御プログラムや、タブレット PC 用アプリを変更する必要があり、非常に煩雑であった。そこで、OpenPLC を用いた遠隔操作型実験装置を開発した。図 3 は、OpenPLC を用いた直流電動機の遠隔操作型実験装置の構成を示している。教室では、PC から制御プログラムを CPU (Raspberry Pi) に送信し、実行する。実験室では、I/O デバイス (Arduino Uno) の PWM 出力によりチョップを動作させ、直流電動機を駆動する。このとき、電圧や回転数などは、Arduino Uno の A/D 変換により検出される。教室のスクリーンには、検出した電圧や回転数とともに Web カメラで撮影した実験の様子が映し出され、学生はスクリーンの映像を見て実験を体験できる。

図 4 は、遠隔実験中の表示画面を示している。OpenPLC のモニタ機能には、A/D 変換された電圧や回転数を表示する機能がある。しかし、単に A/D 変換した値を 10 進数で表示するだけで、その値が何を意味しているのか、学生にとって分かりにくい表現となっている。そこで、A/D 変換された値を電機子電圧 V_a [V] や回転数 N_m [rpm] に換算し、メータや波形により視覚的に分かりやすく表示する画面を、Node-RED により構成した。画面上には、実験開始時の電源投入ボタン(緑)や、緊急停止ボタン(赤)も設置している。

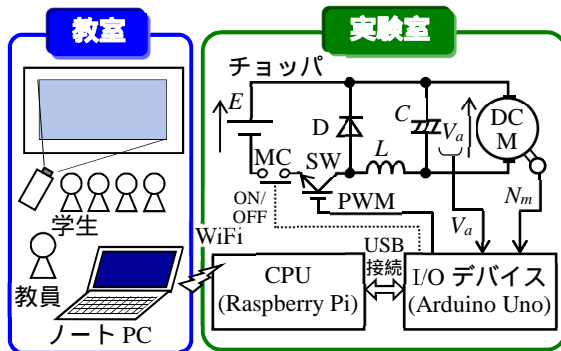


図 3: OpenPLC を用いた遠隔操作型実験装置

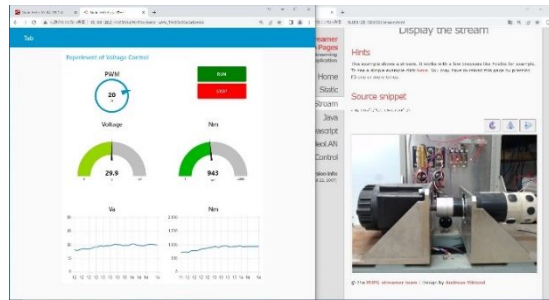


図 4: 遠隔実験中の表示画面

(3) 直流電動機の遠隔操作型実験の実施とアンケートによる評価

永久磁石励磁の直流電動機の回転数 N_m は、電機子電圧 V_a にほぼ比例するが、この V_a と N_m の関係について学習する授業の中で、開発した実験装置を用いて遠隔実験を行った。

図 5 は、電圧制御プログラムのブロック図である。実際には、図 6 に示すように、ラダー図を用いて制御系を構築した。電機子電圧指令 V_a^* を 0 V から 50 V まで、10 V ずつ段階的に変化させ、この指令値 V_a^* に実際の電圧 V_a が一致するように PI 制御している。図 7 は、直流電動機の遠隔操作実験の結果で、電機子電圧が指令値 V_a^* 通りに 0 V から 50 V まで、10 V ずつ段階的に変化し、それに合わせて回転数も段階的に増加している。

図 8 は、遠隔実験を体験した学生 40 名に対してアンケート調査を行った結果である。97% の学生が、遠隔実験により電動機の動作をイメージして学習できたと答えている。また、遠隔実験が授業の内容の理解に役立ったと、97% の学生が回答した。この結果から、遠隔操作型実験装置の有効性が確認できた。

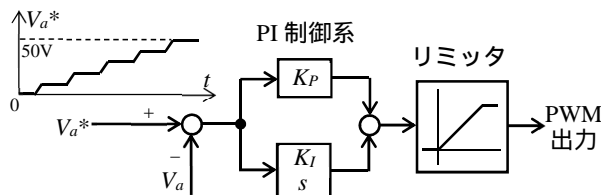


図 5: 電圧制御プログラムのブロック図

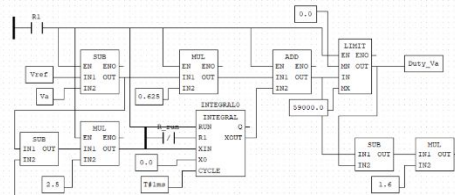


図 6: ラダー図による制御プログラム

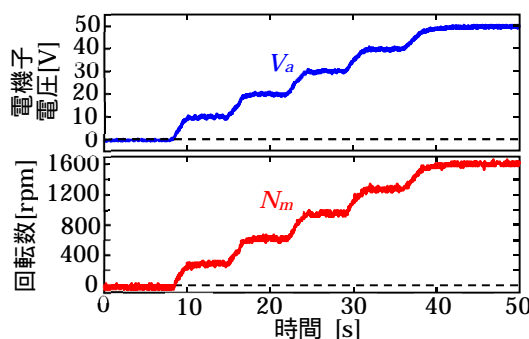


図 7: 遠隔操作実験の結果

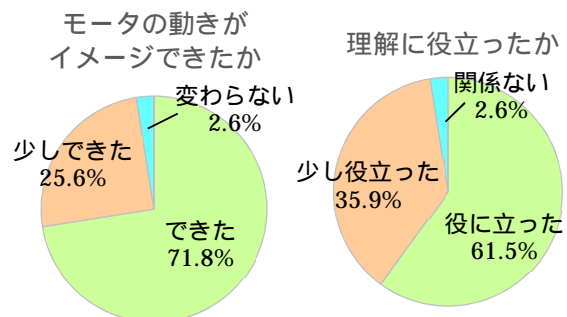


図 8: アンケート調査の結果

(4) チョップ回路学習用実験装置の開発

図 9 は、開発したチョップ回路学習用実験教材を示している。チョップ回路は、スイッチ S (FET)、ダイオード D、インダクタンス L とコンデンサ C で構成され、S、D、L の配置を入れかえることで、降圧チョップ、昇圧チョップ、昇降圧チョップを構成することができる。図 9 (a) は、降圧チョップ回路を構成したときの回路の外観である。また、図 9 (b) は、スイッチ部分の外観を、図 9 (c) は、その内部構造を示している。スイッチ部分として、ボックスの内部に、三角波キャリアの発振回路と PWM 信号生成用のコンパレータおよびゲートドライブ回路を収納している。三角波キャリアの振幅、周波数や、基準電圧 V^* を調節する可変抵抗をボックスに取り付け、外側から調節できるようにしている。また、半導体スイッチを使用していることが分かりやすいよう、FET はボックスの外部に取り付けている。



図 9：チョップ回路学習用実験教材

(5) e ラーニング教材と組み合わせたチョップ回路の実験とアンケートによる評価

開発したチョップ回路学習用教材を用いて、降圧チョップの実験を体験してもらった。また、パワーエレクトロニクス の e ラーニング教材を利用して、実験内容に関するビデオ教材を開発した。図 10 は、ビデオ教材の画面の一例を示している。このビデオ教材を、実験実施前の予習として事前に視聴してきてもらった。また、チョップ回路の実験を体験した学生に対してアンケート調査を実施し、実験装置およびビデオ教材の有効性について検証した。

図 11 は、ビデオ教材による実験の予習と、チョップ回路学習用教材による実験を体験した学生 32 名のアンケート調査の結果である。ビデオ教材で実験内容を予習してきた学生の 89% が、実験内容の理解にビデオ教材が役立ったと回答している。また、実験を体験した学生の 80% が、実験によりチョップ回路に対する理解が深まったと回答している。これらの結果から、チョップ回路学習用実験教材の有効性と、e ラーニング教材を実験の予習に使用することの有効性が確認できた。

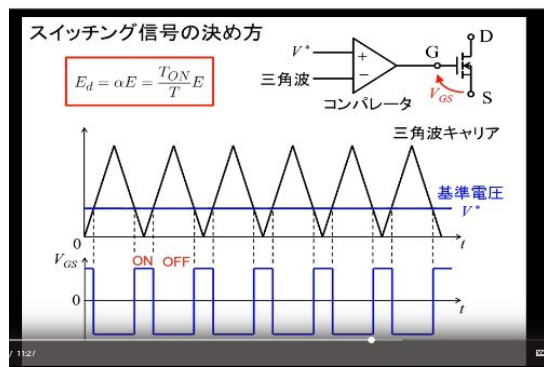


図 10：ビデオ教材の画面の一例

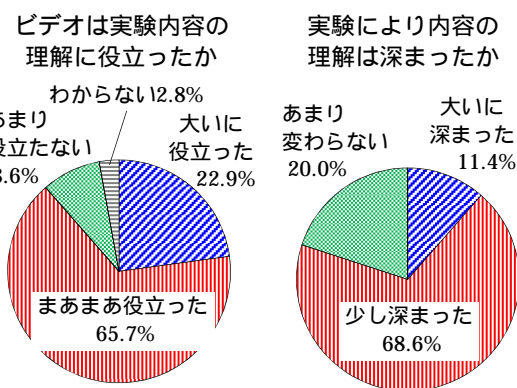


図 11：アンケート調査の結果

<引用文献>

[1] 西川純, 土屋美浩, 水野鉄也: 「すぐ実践できる! アクティブ・ラーニング高校数学」, 学陽書房 (2016)
 [2] 小林昭文: 「いまからはじめるアクティブラーニング導入&実践 BOOK」, 学陽書房 (2016)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 上町 俊幸, 矢吹 明紀, 山口 真央, 與那嶺 尚弘, 安東 至	4. 巻 69
2. 論文標題 パワーエレクトロニクスに関する実験の教材開発と遠隔授業用教材の応用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of JSEE	6. 最初と最後の頁 3_30 ~ 3_34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4307/jsee.69.3_30	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 本田 聖弥, 上町 俊幸, 與那嶺 尚弘
2. 発表標題 OpenPLCを用いた直流電動機の教育用簡易型遠隔実験装置の開発
3. 学会等名 2021年度電気・情報関係学会北陸支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上町俊幸, 與那嶺尚弘
2. 発表標題 直流電動機の遠隔操作型in situ実験装置と模擬実験
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小室凜央, 金城篤史, 鈴木大作, 上町俊幸, 山田親稔, 與那嶺尚弘
2. 発表標題 設置場所と使用場所に依存しない電気機器の遠隔実験システムの開発
3. 学会等名 令和2年度（第11回）電気学会九州支部 高専研究講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中田京時, 上町俊幸, 與那嶺尚弘
2. 発表標題 電気機器におけるin situ実験のための遠隔操作型実験装置の開発
3. 学会等名 令和元年度北陸地区学生による研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上町俊幸, 與那嶺尚弘, 安東至
2. 発表標題 OpenPLCを用いた直流モータの遠隔操作型in situ実験装置
3. 学会等名 2022年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	與那嶺 尚弘 (Yonamine Takahiro) (00259805)	沖縄工業高等専門学校・情報通信システム工学科・教授 (58001)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------