

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350338

研究課題名(和文)次世代のエネルギー問題を解決する電力工学教育・学習支援システムの構築

研究課題名(英文)Development of power engineering educational support system for solving the next generation of energy problems

研究代表者

福本 尚生 (fukumoto, hisao)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：60346872

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、電力工学の学習を行う教育・学習支援システムを開発することである。情報通信技術を用いた遠隔実験やe-learningは技術者教育において非常に有用である。しかし、従来の遠隔実験やCGアニメーションなどの学習コンテンツでは、WEBプラグインなどを利用しているため、スマートフォンやタブレット端末などのモバイル機器からの利用は困難であった。そこで、本研究では、HTML5を利用し、モバイル端末からも利用可能なシステムとした。本研究では、「直流電動機・発電実験システム」、「誘導電動機学習システム」、「ステッピングモータ学習支援システム」、「HEMS学習支援システム」を開発した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this work is to develop the educational support system for learning power engineering. Learning using information and communication technologies, such as remote experiments and e-learning system, is effective in engineering education. However, conventional remote experiments and CG animations cannot be used with smartphones and tablets running Android or iOS. We have aimed to overcome these problems by the use of HTML5 and developed HTML5 based educational support systems that enable mobile access.

We developed "DC motor and Alternator Experiment system", "Induction Motor Learning Support System", "Stepper Motor Educational Support System" and "Home Energy Management System Educational Support System". In addition, we conducted a survey to evaluate one of these developed systems, and it turned out that the system was accepted by the students as a useful tool.

研究分野：教育工学

キーワード：e-learning 電力工学 教育支援 遠隔実験

1. 研究開始当初の背景

平成 23 年 3 月に起こった福島原発事故以来、「環境」・「エネルギー」問題の重要性・安全性が国民の注目を集めている。しかし、これらのエネルギーシステムに直結した電気工学（電気機器、電力、系統）技術者の不足が大きな問題となっている。エネルギーシステムに直結する電気工学分野は成熟したイメージがあり、これから技術者をを目指す若者にとっても関心が低く、近年、大学などの高等教育機関における電気系学科においてもエネルギー関連の教育カリキュラムは減少傾向にある。しかしながら、社会の要請としては、環境・エネルギー問題に対する意識の高まりを受けて、電気機器学、電力工学、パワーエレクトロニクスの重要性が再認識されつつある。中でも、「次世代電力システム（スマートグリッド）」などの新技術が注目されている。これらの技術は、古典的な「電力技術」と最先端の「知的情報処理技術」を融合したものであるが、古典的な電力技術を「強電（狭義の電気工学）」、知的情報処理技術を「弱電（電子工学や情報通信工学）」と、従前、区別して取り扱われてきた。先にも述べたように、強電であるエネルギー分野は技術的にも成熟したイメージが強く、電気系技術を学ぶ若い技術者にとっても魅力が低下し敬遠される傾向にある。それに応じて弱電とよばれる情報処理技術を指向する若い技術者が増えてきた。しかし、今後はこれらを融合した技術を持った技術者が必要とされてきている。

これらの教育の強化を図ることは急務であり、未来を見据えた電力工学と知能情報処理技術を融合したマイクログリッドを見据えた学習・教育支援システムを構築する。

近年、技術者教育にも、e-learning として、さまざまな分野の技術教材が利用可能になっている。これらの e-learning による学習は、教育コンテンツを視聴し学習するものが多く、初学習者にとっては、非常に分かりやすく、興味を持って学習することが可能である。また、文章だけでなく画像や動画、アニメーションなども利用可能であり、効果的な学習・教育が可能である。しかし、技術者教育においては、利用者が主体的に操作し、実験についても間接的に体感することができるシステムの実現が強く求められている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、昨今、再注目されている電力工学に関する教育・学習支援システムを構築することである。そのために、ICT を利用した e-learning システムとして、電気機器や電力工学、エネルギーマネジメントに関する学習・教育支援システムの開発を行うこととした。電気分野の特徴である電磁界現象は、実際に目に見えるものでないため、学習者にとっては難解で理解し難いと感じられ、苦手意識を持つ場合も多い。そこで、3DCG アニメーション等の技術を用いて、電磁界現象を

3 次的に可視化し、理解を深めることができるような機能を持たせる。また、電気機器の仕組みを理解するために、モータ、インバータなどを遠隔制御可能な実験対象として構成することで、実際の機器を主体的に操作し、現象を擬似体感することによって学習効果を高めることが可能になる。さらに、上記の 3DCG アニメーションを実際の機器の動作と重ねて表示させる AR(拡張現実感) 技術を導入することも目的とした。

3. 研究の方法

(1) 電力工学教育・学習支援システムの設計

システムを開発するにあたって、次のような方針を設定した。

- Web からの遠隔実験を可能とする
- 実験機器の増設・改良が容易に実施可能
- スマートフォンやタブレット端末からの利用も可能とする

図 1 に開発したシステムの全体構成を示す。利用者はコンピュータやスマートフォンなどのタブレット端末の Web ブラウザを用いて Web サーバにアクセスする。Web サーバは、利用者の要求に応じて、各実験機器を制御・計測するマイクロコンピュータ（以下、マイコン）に指令を送ると共に、計測結果などのデータを受け取り、利用者に提供する。実験機器は、それぞれのマイコンで制御・計測することによって、新しい実験機器の導入や、改良を容易とした。

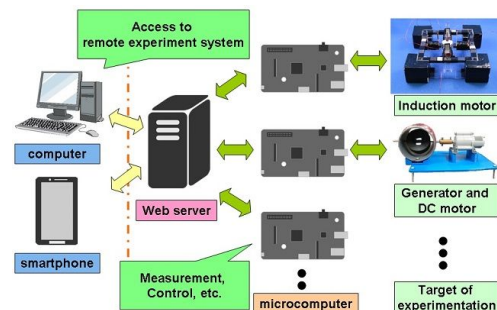


図 1 システムの全体構成

(2) システムにおける各種サーバ

本システムは、図 2 に示すように Web サーバ、アプリケーションサーバ、実験サーバの三つのサーバから構成されている。Web サーバとアプリケーションサーバは、Linux マシン上で動作しており、実験サーバは Raspberry Pi マイコン上で動作している。

Web サーバは Nginx で構築しており、Web ページや動画などの静的なコンテンツを配信する。Nginx とはオープンソースの Web サーバで、サーバへのアクセスを中継するリバースプロキシサーバも構築することができる。リバースプロキシを行うことで、複数のアプリケーションサーバがあっても、一つのリバースプロキシサーバにアクセスすることでシステムが利用できる。

アプリケーションサーバは、Node.js で構築しており、遠隔実験に関する通信処理を行う。Node.js は JavaScript でネットワークアプリケーションを構築するためのプラットフォームであり、通常 Web ページ上で動作するクライアントサイドアプリケーションを記述するための JavaScript を用いて、サーバサイドアプリケーションも記述することを可能とする。アプリケーションサーバでは、主に Web ブラウザと実験サーバのデータの仲介を行う。

実験サーバは、Raspberry Pi 上で Node.js を用いて構築した。アプリケーションサーバから制御データを受け取ると、そのデータに基づいて実験機器を制御し、計測結果をアプリケーションサーバへ送信する。実験サーバを他のサーバと分離した構成にすることによって、実験機器の追加が容易になり、システムの拡張が簡単に行える。

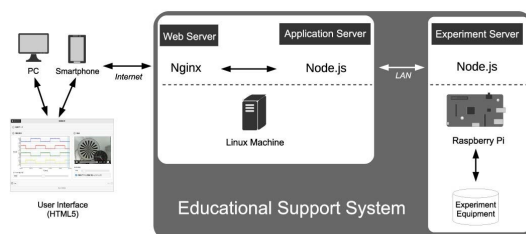


図2 サーバの構成

(3) Web ページ

ユーザインタフェースとなる Web ページは、HTML5 という Web の最新技術で開発した。図3にその例を示す。従前のシステムは、その多くが Adobe Flash や Java アプレットなどのプラグインを利用していた。これらのプラグインによって、Web ブラウザで CG アニメーションや動画が実現できるが、これらのプラグインは Android や iOS といったスマートフォン・タブレット向けの OS では利用できないという問題がある。そこで、HTML5 を用いることで、これらのプラグインなしで CG アニメーションや動画を扱うことができ、モバイル端末用の OS でもパーソナルコンピュータ用の OS と同様の機能が利用できる。

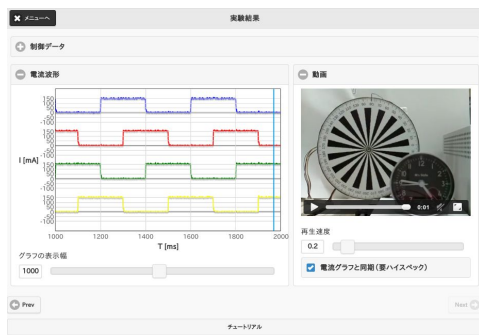


図3 Web ページの表示例

(4) AR(拡張現実)

効果的な学習教材を作成するために、本研究では AR の技術を応用した。CAE ソフトウェアである COMSOL Multiphysics の電磁界解析結果を、AR として実際の実験機器に重ねて表示可能なシステムを構築した。図4に示すように、電磁界解析ソフトが出力する解析結果ファイルを読み込み、仮想現実感として、カメラ画像に重ね合わせることを可能にし、視線の変更や回転磁界のアニメーション表示も可能である。

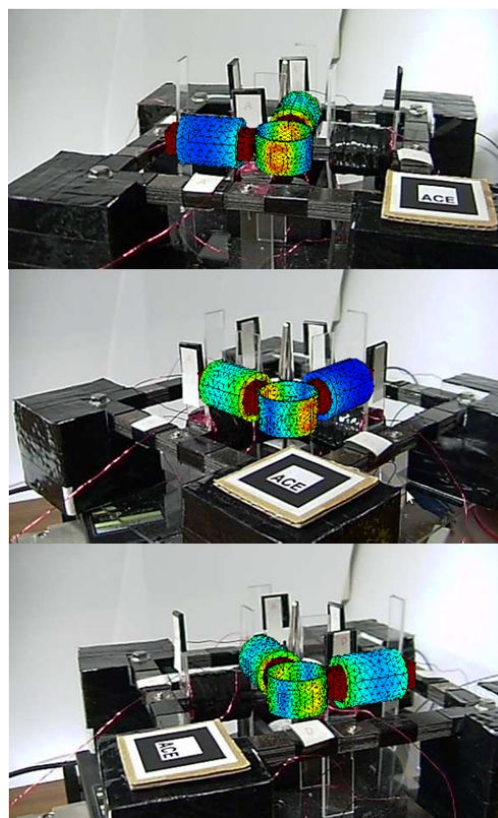


図4 ARによる誘導モータの回転磁界表示

(5) 実験機器

直流モータと発電機

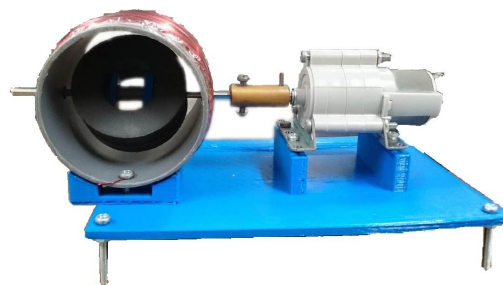
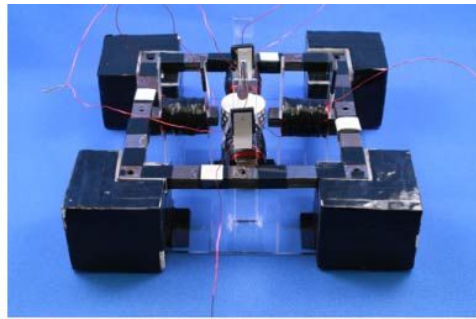


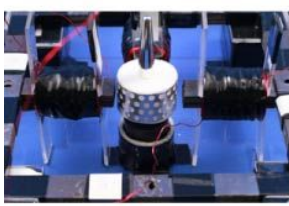
図5 直流モータと発電機の実験

直流モータと発電機の実験システムでは、直流モータの PWM 制御によって、発電機の同期速度を変更し、発電の仕組みを学習することができる。発電波形は Web 上でオシロスコープを操作するのと同様の感覚で確認することができる。

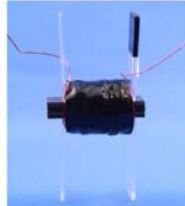
模擬誘導電動機



Induction motor



Rotor



Coil

図6 模擬誘導電動機

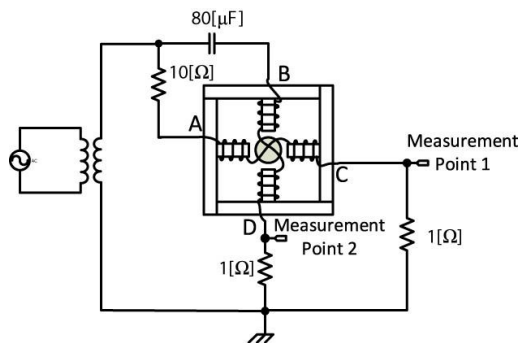


図7 模擬誘導電動機駆動回路

誘導電動機の動作原理などを学習するために、図6に示すような模擬誘導電動機を作成した。四つのコイル、ヨークからなる固定子と複数の穴が空いた薄いアルミニウムの板を円筒状に加工した回転子から成る。

回転制御には、図7に示すように、二対のコイルに対して、コンデンサによって位相が異なる電流を流し、回転子に対して回転磁界を形成し回転させる。その際、電流の位相差の有無を制御可能とし、回転磁界の有無でローターの回転の違いを見ることができるようにした。さらに、この電動機の数値解析モデルを作成し、回転磁界のシミュレーションを行い、ARによって、解析結果を実機に重ねて表示できるようにした。

ステッピングモータ

ステッピングモータの動作原理の学習が可能なるシステムの構築を行った。ステッピングモータには図8のような角度板を取り付け、角度制御などの遠隔実験を可能にしている。図9のようなインタフェースを用いて、励磁

パターンを自由に設定できるようにしており、テキストとCG教材を組み合わせ、以下の実験・学習が行えるようにした。

- 1相励磁方式
- 2相励磁方式
- 1-2相励磁方式
- 回転方向制御
- 回転速度制御
- 脱調現象の確認

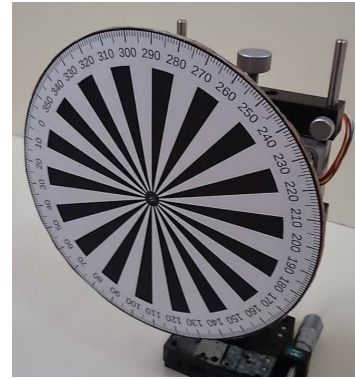


図8 ステッピングモータと角度板

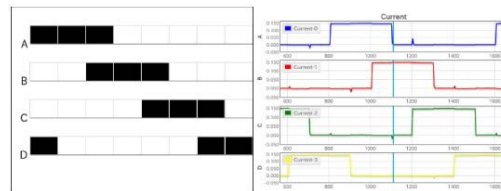


図9 励磁パターンと各相の電流計測結果

HEMSの模擬実験装置



図10 模擬負荷を用いたHEMS実験

家庭でのエネルギー管理システム (Home Energy Management System: HEMS)を体験学習可能にするため、図10に示すように、家庭での電化製品を電球で模擬し、遠隔で家電のON、OFFをコントロールするとともに、消費電力を計測する。昼食時における天候の変動による太陽光発電量の変化などを想定した、複数のシナリオに基づいて、消費電力のピークカットやピークシフトなどのエネルギー管理を体験・学習することが可能である。

変圧器
電気機器の代表である変圧器の動作原理、実験を可能にするシステムの構築を目指し、CAE ツールを用いた数値解析を行った。

4. 研究成果

(1) DC モータ及び発電機実験システム

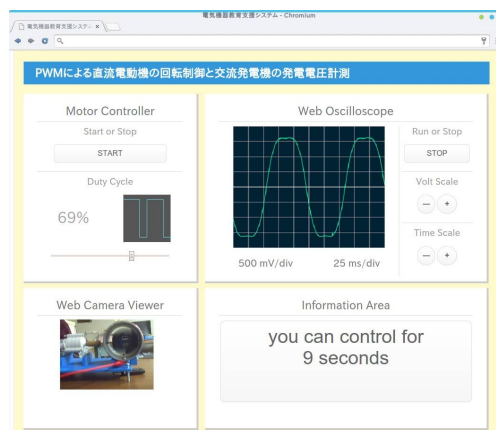


図 11 DC モータ・発電機実験システム

図 11 に示すような、DC モータ・発電機実験システムを構築した。これによって、HTML5 ベースの学習・教育支援システムの骨格が定まった。Web サーバ、実験サーバなどを独立させて構築したことで、拡張性が高いシステムが開発できた。このシステム構成をベースに、以下の学習・教育支援システムの開発も容易に進めることができた。また、システムの評価として、35 名の高校生を対象に実際に利用してもらい、アンケートによって本システムの有用性が高いことを確認した。

(2) 誘導電動機学習システム

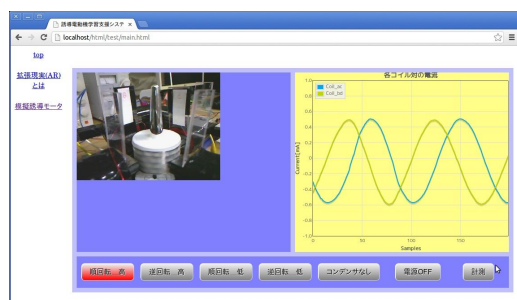


図 12 模擬誘導電動機学習システム

図 12 に示すような、誘導電動機の学習システムを構築した。本システムでは、模擬誘導電動機を対象として、電流計測や回転制御の遠隔実験を可能とした。さらに、AR を用いて電磁気現象を可視化し、回転磁界の発生の様子などを実際の画像に重ねて表示させることにも成功した。さらに、実際の三相誘導電動機の遠隔実験を目指し、インバータ制御回路を製作し、回転実験を行うことができた。今後は、この実験装置を遠隔で利用可能にし、誘導電動機の制御実験などを追加し、システ

ムとしてさらに充実させる予定である。

(3) ステッピングモータ学習システム

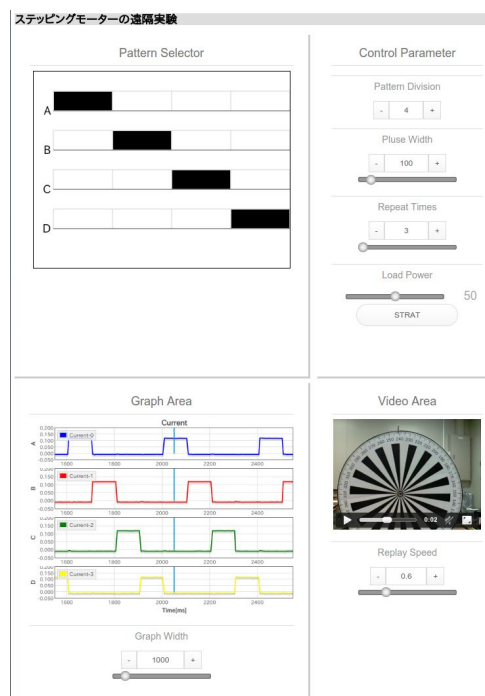


図 13 ステッピングモータ学習システム

図 13 に示すような、ステッピングモータの学習システムを構築した。HTML5 でユーザインタフェースを作成することで、スマートフォンやタブレット端末でも利用することが可能であるが、画面の小さいタブレット端末などでは利用しにくい場合があることが問題であった。そこで、実験に必要な操作ページを複数に分割し、端末の画面サイズに応じて、表示されるページのレイアウトが変わるレスポンシブルデザインを採用することによって、画面の小さいデバイスでも利用しやすいユーザインタフェースとした。ここでは、jQuery Mobile というフレームワークを採用することによって実現した。

(4) HEMS 学習・教育支援システム

図 10 で示したような、HEMS について学習可能なシステムの構築を進めている。家庭にある電気機器を模擬した模擬負荷を用いてエネルギー管理を疑似体験するシステムの開発を進めている。現在では、ピークカット、ピークシフトなどの一部の実験が可能であるが、EMS を体系的に学習できるようにするために、実験内容などの充実をさらに進める予定である。

(5) 変圧器の漏れリアクタンスの数値解析

変圧器を実験機器としてシステムに組み込む予定であり、変圧器の漏れインダクタンスの数値解析を行い、実験結果と比較した。

(6) 本研究課題の総括

本研究課題では、電力工学や知的情報処理技術の習得を行う、教育・学習支援システムの開発を目的にしていたが、概ねその目的は達成できた。今後の展望としては、これらの

システムを全体的に統合し、実際の教育現場などで使用し、評価・改善を行い、さらに完成度を高めてゆきたい。

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 1 件)

Makoto Ishibashi, Hisao Fukumoto, Tatsuya Furukawa, Hideaki Itoh and Masashi Ohchi, "Development of an HTML5 based Educational Support System on Electrical Machinery" IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, 査読有, Vol.135, No.11, pp.666-671, 2015

[学会発表](計 22 件)

Hisao Fukumoto, Tatsuya Furukawa, Hideaki Itoh, Masashi Ohchi, "Calculating Leakage Reactance of 9-Winding Transformer using Time-Dependent 3D FEM analysis", 41st annual conference of the IEEE industrial electronics society, 査読有, 2015/11/10, yokohama, Japan

福本尚生, 瀬戸口和明, 石橋眞, 古川達也, 伊藤秀昭, 相知政司, 「ICT を利用した誘導電動機学習支援システム」 Forum on Information Technology 2015, K-019, pp.501-506, 2015 年 9 月 16 日, 愛媛大学

石橋眞, 福本尚生, 古川達也, 伊藤秀昭, 相知政司, 「HTML5 ベースステップモータ教育支援システムの開発」電気学会研究会資料 教育フロンティア研究会, FIE-15-017, pp.33-38, 2015 年 9 月 5 日, 大分

瀬戸口和明, 福本尚生, 古川達也, 伊藤秀昭, 相知政司, 重松優希 「遠隔実験及び拡張現実を用いた誘導電動機学習支援システムの開発」平成 27 年度第 25 回電気学会 電子・情報・システム部門大会 講演論文集 (CD-R), GS13-3, pp.1444-1449, 2015 年 8 月 28 日, 長崎大学

山口優太, 古川達也, 福本尚生, 伊藤秀昭, 相知政司, 比良優貴, 「教育支援用模擬マイクログリッドの開発」平成 27 年度第 25 回電気学会 電子・情報・システム部門大会 講演論文集 (CD-R), GS6-7, pp.1247-1252, 2015 年 8 月 27 日, 長崎大学

石橋眞, 福本尚生, 古川達也, 伊藤秀昭, 相知政司, 「ステップモータ学習のための Web ベース遠隔実験システムの開発」電気学会研究会資料 教育フロンティア研究会, FIE-14-042, pp.91-96, 2014 年 12 月 14 日, 京都大学

瀬戸口和明, 福本尚生, 古川達也, 伊藤秀昭, 相知政司, 「誘導電動機のための遠隔実験システムの開発」電気学会研究会資料 教育フロンティア研究会, FIE-14-043, pp.97-102, 2014 年 12 月 14 日, 京都大学

松永晃和, 古川達也, 福本尚生, 伊藤秀昭, 相知政司, 「教育支援のための三次元電磁界解析ツールを用いた動的電磁誘導現象の可視化」電気学会研究会資料 教育フロンティア研究会, FIE-14-044, pp.103-110, 2014 年 12 月 14 日, 京都大学

比良優貴, 古川達也, 福本尚生, 伊藤秀昭, 相知政司, 「模擬マイクログリッドシステムのための太陽光発電シミュレーションシステムの開発」電気学会研究会資料 教育フロンティア研究会, FIE-14-041, pp.85-89, 2014 年 12 月 14 日, 京都大学

Hisao Fukumoto, Tatsuya Furukawa, Hideaki Itoh and Masashi Ohchi, "Feasible Method of Calculating Leakage Reactance of 9-Winding Transformer for High-Voltage Inverter System" The 2014 International Power Electronics Conference, 査読有, 21P10-1, pp.3249-3254, 2014/5/21, Hiroshima, Japan

Makoto Ishibashi, Hisao Fukumoto, Tatsuya Furukawa, Hideaki Itoh and Masashi Ohchi "Development of a Web-Based Remote Experiment System for Electrical Machinery Learners", International Power Electronics Conference 2014, 査読有, 19P14-3, pp.724-729, 2014/5/19, Hiroshima, Japan

Yuki Hira, Tatsuya Furukawa, Seichiro Yakabe, Hisao Fukumoto, Hideaki Itoh and Masashi Ohchi, "Development of Power Measurement System in Simulated Micro Grid System for Education", The 2014 International Power Electronics Conference, 査読有, 19P14-4, pp.730-735, 2014/5/19, Hiroshima, Japan

他 10 件

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福本 尚生 (FUKUMOTO HISAO)
佐賀大学・工学系研究科・助教
研究者番号: 60346872

(2) 研究分担者

古川 達也 (FURUKAWA TATSUYA)
佐賀大学・工学系研究科・教授
研究者番号: 90173525