

電力系統の運用を体験する教具の開発

Development of Teaching Tools for Simulated Operation of an Electric Power System

橋場 隆 (Takashi Hashiba) *1

要約 平成26年度に、教材「3.11に学ぶ 今後の日本のエネルギーのあり方－原子力発電とどう向き合うか－」の開発を終了した。この教材は今後の日本のエネルギーや電力利用について、確かな知識・主体的な考えの元に、生徒同士が話し合う場をもつことを目指した総合的な教材である。同時に、学習内容への馴染みが薄いことに配慮して、「楽しく学べる」教具などの提案も行っている。本稿では、その一環として開発した電力系統模擬装置による体験学習を紹介する。身近な教具を使った学習体験が、原子力発電や電気を届ける仕組みに対する関心を育み、そこでの気付きや疑問が、今後の日本のエネルギーのあり方に関する学習へつながっていくことを期待している。

キーワード エネルギー環境教育, 学習用教具, 電力系統, 模擬装置

Abstract In fiscal 2014 the development of teaching materials was completed for the program “The shape of future energy in Japan: how we deal with nuclear power generation based on the experience of 3.11”. This is a comprehensive program with the aim to bring students into discussions about future energy and electric power generation in Japan, based on their knowledge and independent perspective. The learning contents related to future energy and electric power generation are unfamiliar to students, therefore “fun to learn” teaching tools were proposed. In this article the learning experience for operation of an electric power system is introduced using a simulator developed as a part of the attempt to familiarize students with the learning contents. It is expected that learning experiences using the teaching tools developed to raise students' interest in nuclear power generation and electric power systems, which comes with them taking new notice of things and asking questions, will finally lead them to learning about the shape of future energy in Japan.

Keywords Energy and environmental education, teaching tool, electric power system, simulator

1. はじめに

平成22年度末に教材「教科学習におけるエネルギー環境教育の授業づくり」の完成をもって、原子力安全システム研究所（以下「INSS」と略す）のエネルギー環境教育に関する中核教材の整備が終了した。

これに続けて平成23年度から26年度の4年間に、中核教材での学びをベースに、原子力発電もきちんと取り上げて総合的にエネルギー問題を学ぶ教材「3.11に学ぶ 今後の日本のエネルギーのあり方－原子力発電とどう向き合うか－」（以下「総合的な教材」と略す）の開発を行った。平成26年度末でのINSSにおけるエネルギー環境教育に関する教材の全体像

を、表1に示す。

総合的な教材は、今後の日本のエネルギーや電力利用について、確かな知識・主体的な考えの元に、生徒同士が話し合う場をもつことを目指した教材である（表2参照）。しかし、学習内容への馴染みが薄いことに配慮して、電力系統や放射線などの個別項目について、「楽しく学べる」教具や学習活動の提案を同時に行っている。

総合的な教材の開発経緯及び概要については、日本エネルギー環境教育学会の学会誌「エネルギー環境教育研究」9巻2号に報告した。本稿では、「楽しく学べる」教具として提案した電力系統模擬装置を使った電力系統の体験学習について報告する。

*1 (株)原子力安全システム研究所 社会システム研究所

表1 INSSのエネルギー環境教育用教材

(平成26年度末時点)

分類	教材	
総合的な教材	3.11に学ぶ今後の日本のエネルギーのあり方 －原子力発電とどう向き合うか－	
中核教材	教育理論	実践事例
	「総合的な学習の時間」用 ・エネルギー環境教育の理論と実践 ・エネルギー環境教育の学習用教材（小学校編／中学校・高等学校編） 教科教育用 ・教科教育におけるエネルギー環境教育の授業づくり（小学校編／中学校編）	学校全体での取り組み例 ・山城中学校のエコな挑戦－学ぶ力・教師力・学校力を育てるエネルギー環境教育 個別テーマでの取り組み例 ・持続可能な社会をめざすエネルギー環境教育の実践
エントリー教材	・エネルギー環境教育の教材「eカード」 ・エネルギー環境学習絵本「e絵本」 ・エネルギー環境学習絵本「はじめましてほうしゃせん」	

表2 総合的な教材の主題の展開

No	主 題	概 要
1	導入	エネルギー問題への意識付け，社会科と理科での導入例。
2	電気を届ける仕組み	電気を届ける仕組みを通して，原子力発電や再生可能エネルギーによる発電の意義や課題を知る。
3	原子力発電のエネルギーの源	原子力発電に関する基礎的な知識を得る。福島事故を理解する上で必要な事項も補足する。
4	放射線	放射線に関する基礎的な知識を得る。初歩的なリスク認識についても触れる。
5	福島事故から学ぶ	福島事故及びその後の社会動向から，原子力発電の安全確保及び今後の電力の安定供給に必要なことを押さえる。
6	今後のエネルギーの選択	原子力発電も対象に，将来社会の電源・エネルギーについて考察・討論する場を持つ。

2. 開発の背景

電力系統模擬装置(以下「模擬装置」と略す)は、「電気エネルギーを発電所から家庭・工場まで届ける仕組み」，すなわち電力系統の仕組みを体験的に分かりやすくかつ楽しく学習するために開発した装置である。開発は平成21年度の理科教育ワークショップ研究会（以下「理科研究会」と略す）嶺南支部^{*2}の活動にさかのぼる。

当時のエネルギー環境教育を取り巻く状況やエネルギー情勢は次のとおりであった。

- ・エネルギー環境教育の学習テーマとして，電気を

届ける仕組みが取り上げられることが多い，したがって，学習を進めると，電力系統（発電－送電－配電）について触れる場面が登場する。

- ・しかし，教師にとって電気は難解な分野と言われており，また，電力系統の仕組みを簡単に学習する教具等がなく，教師が電力系統について適切な解説や説明を行うことは困難であった。
- ・小学校理科の教具に手回し発電機（直流）が本格的に取り上げられた。また，コンデンサ（キャパシタ）も採用された。
- ・社会的には太陽光発電や風力発電の導入が進み始めていたが，島国である日本において，これらの変動電源が大量に導入された場合の電力系統への影響がほとんど認識されていなかった。一方で，実体が定まらないまま，スマートグリッドが大量導入を促進する技術として市民権を得てきた。

この様な状況を踏まえて，手回し発電機やコンデンサを利用して，電力系統を分かりやすく体験的に学習できる教具を提供していくべき時期に来ていると考え，理科研究会嶺南支部において開発を行うこととした。

3. 理科研究会での開発と実践

3.1 模擬装置の開発条件

前項の背景を踏まえて，次の条件のもとに模擬装置の開発を進めることとした。

*2 当時INSSが福井大学と連携して運営していた教員参加の研究会。福井大学がある福井県嶺北を拠点とする研究会と嶺南地区を拠点とする嶺南支部で活動。嶺北の研究会は中学校教師が，嶺南支部は小学校教師が主体に活動。

(1) 電力システムに関する基礎的な概念が学べること

エネルギー利用の観点から押さえてたい電気エネルギーの特徴は、「様々なエネルギー資源からのエネルギー変換によって生産（発電）される」と、「生産された電気エネルギーは全て同時に消費（利用）される」の2点である。したがって、次の2つの概念（図1参照）を学習できる装置とする。

- ・同時同量：電力の生産（発電）と消費が量的にも時間的にも一致していること。
- ・電力ミックス：発電方式の特性（制御性、経済性、環境性など）に応じて、多数の発電機がベース、ミドル、ピーク電源の役割を分担し、協調して発電していること。

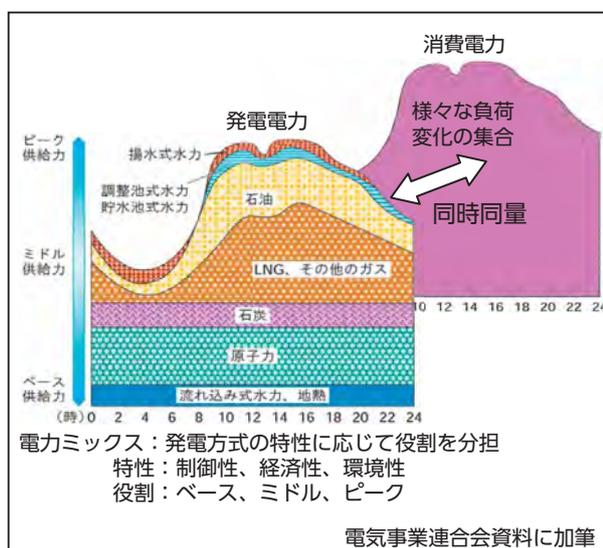


図1 電力システムの基礎的な概念

(2) 手回し発電機やコンデンサを利用して体験的に学習できること

学校で活用されやすくするには、学校教育の内容と協調をとる必要がある。また、行事や学習イベントなどにも広く活用できる魅力的な教材を目指す。

- ・理科での学習に応用しやすいように手回し発電機やコンデンサを利用した装置とする。
- ・誰でも簡単に取り扱え楽しく体験できること。
- ・多人数が一斉に参加して体験できること。

(3) 研究会活動にふさわしいものであること

現役の教師が参加する研究会の活動の一環として実施するものであるため、次の点に留意する。

- ・会員全員がプログラムづくりや模擬装置の制作に関わるとともに使用できるものであること。
- ・安価に制作できること。

3.2 模擬装置の仕様

実際の電力システムは三相交流のシステムであるが、直流の手回し発電機を使うことを前提としているため、模擬装置は直流で構成する。

図1に示す電力システムの基礎的な概念に従い、模擬装置の構成要素は、発電機側、負荷側、両者をつなぐ連携部分の3か所に分けられる。開発条件から、それぞれの構成要素に必要な項目を次のように整理した。

① 発電機側

- ・多数の手回し発電機が接続でき、容易に運転台数を増減できる。
- ・参加者が役割を担当してもよいが、ベースロード用電源の意味合いを分かりやすくするため、自動的に定速回転させる発電機を用意する。
- ・体験者の混乱防止のため、発電していない時に逆流によって手回し発電機を回転させない措置をとる。

② 負荷側

- ・多数の負荷を接続でき、容易に数を増減できる。
- ・基準状態からの逸脱（発電過剰と発電不足）を容易に認識できる。
- ・手回し発電機の回転を上げ過ぎることによる過電圧に耐えられる。

③ 連携部分

- ・直流の模擬装置であるため、発電機側と負荷側を単純に接続するものに留める。
- ・需給バランスの指標として電圧計を接続する。
- ・いくつかのコンデンサを接続でき、容易に数を増減できる。

以上を踏まえて、制作のベースとして整理した回路構成を図2に示す。各手回し発電機に整流器^{*3}を直列に接続し、並列回路で増減できるようにする。負荷は電圧の増減で光量が敏感に変化し、需給バランスの基準値からの逸脱が感覚的に分かる豆電球と

*3 風力発電の無風時を模擬したいのであれば逆流を許容し、手を離れたときにも手回し発電機が回転を続けるようにする。

し、過電圧にも耐えられる高電圧仕様のものを使用する。負荷の増減はスイッチの入り切りで行う。需給バランスは電圧計によって定量的にも確認できる。コンデンサは蓄電装置として利用する。

なお、後述する総合的な教材での模擬装置の再活用に合わせて、手回し発電機、豆電球、LED及び電子メロディの電気特性を再調査した結果を別記1に示す。豆電球はLED及び電子メロディに比べて、印加電圧に対する応答変化（光量又は音量）の幅が広いこと、1個当たりの消費電力が適度に大きいことから、手回し発電機の特徴との整合性がよく、模擬回路の負荷に適していることが確認できた。

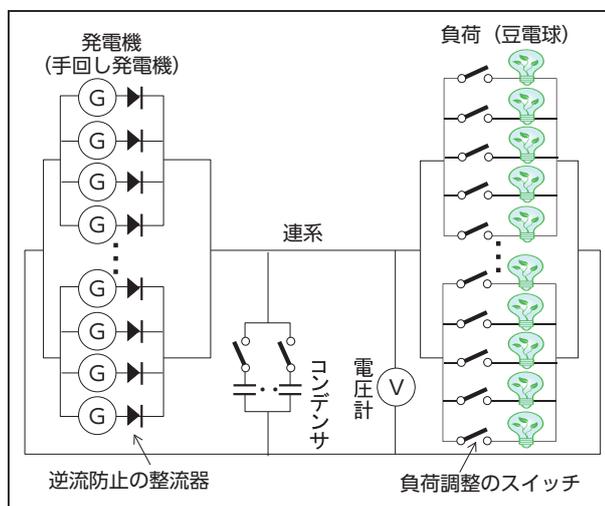


図2 電力系統模擬回路の構成

3.3 模擬装置の制作

会員による制作の様子と完成した模擬装置を図3に示す。ベースロード用に自動的に定速回転させる発電機は外注したが、その他の部分は会員が自作した。通常、手回し発電機は接続端子に直接つなぐが、模擬装置から遠く離れた位置（例えば教室最後部の席）からでも移動せずに参加できるように、20m程度の長さの導線も別途用意した。

3.4 実践と公開

模擬装置の開発と並行して、平成21年度エネルギー教育フェア*4において模擬装置を使った公開授業を実施することが決まった。このため、公開授業に向けてプログラムの検討を進めるとともに、理

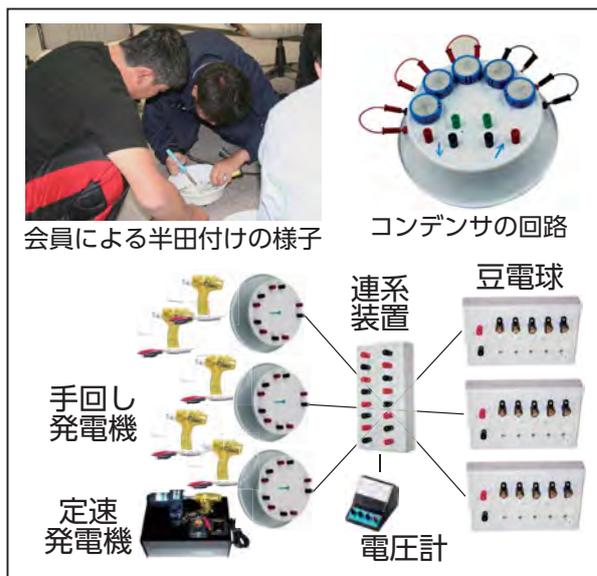


図3 制作した電力系統模擬装置と作業状況

科研究会に所属する教員の勤務校2校において検証授業を行い公開授業に臨んだ。

- ・福井県S市N小学校6年生（H22.2.25）
- ・福井県M町S小学校5・6年生（H22.3.2）
- ・エネルギー教育フェア2010公開授業（H22.3.14）

公開授業で用いたプログラムの概要を別記2に示す。プログラムは小学校高学年以上を想定しており、このため検証授業も小学校高学年を対象に行った。ところが公募で集まった参加者の多くは低・中学年の児童であったため、本来の主役である子どもたちにとってはかなり難しい授業となった。しかし、ある教員参観者からは「ベストミックスや日負荷曲線に合わせた各発電の違いを体験的に学ぶ方法がとても参考になった」との感想があり、参観していた保護者や教育関係者には、学習のねらいが届いていたものと考えられる。

ここまでの経緯や結果については、日本エネルギー環境教育学会の第5回全国大会（H22.8.1）で発表した。これらの活動を踏まえて、本格的に普及させようとした矢先、平成23年3月11日の東日本大震災それに伴う福島第一原子力発電所事故の発生によって、活用の機会が失われることとなった。

*4 エネルギー教育への関心を喚起し学校等におけるエネルギー教育の実践を促進するため経済産業省資源エネルギー庁が開催。

4. 総合的な教材における活用

4.1 再活用のきっかけ

理科学研究会の会員である教員が、平成26年度に地元の理科教育部会において、小・中学校教員を対象にエネルギー環境教育に関する実験講習会の講師を担当することになり、その場を利用して模擬装置を紹介することとなった。終了後のアンケートは講習会全体への感想を自由記述で問うだけの簡単なものであったが、参加した教員の多くが体験実験について言及しており（17名/29名中）、その内の約半数が、「模擬装置の実験は分かりやすい」「太陽光発電の課題が分かった」などの肯定的評価であった。この結果から、社会や学校教育がこの教具の意義を認め必要とする状況が近づいているとの実感を得た。

これを踏まえて、開発中であった総合的な教材の活用例に、この教具を取り入れた実践を盛り込むこととした。なお、対象者は総合的な教材に合わせて原則中学生以上となる。

4.2 プログラムの再検討

中学校の授業で使用することを念頭に、エネルギー教育フェア2010の公開授業で用いたプログラムの体験実験の部分を、出前授業などでの基本プログラムとして分かりやすく書き直した。基本的な体験事項は次の2つである。

- ①1日の運用を体験：日負荷曲線に沿って、発電量を調整してみよう
- ②ある発電機への対応：変動電源が加わった時のバランス調整をしてみよう

ケース1：特別な対策なし

ケース2：ケース1にコンデンサを追加

①では、日負荷曲線に合わせて指導者が豆電球の点灯数を変化させ、生徒はそれに合わせて発電出力（運転台数や回す力）を増減する。この実験を通して、同時同量の需給調整の仕組みと、ベースロード・ミドル・ピーク電源の役割を知るとともに、バランス調整の難しさを実感し、電力の安定供給のために電力会社が24時間実施していることを体験的に学ぶ。

②のケース1では、ベースロード電源1台、豆電球5個点灯の状態から始め、一人の生徒に不規則な発電をさせ、それに対する調整を別の生徒に実施さ

せる。このときのバランス調整は非常に難しい。ケース2ではコンデンサ1個を接続して、ケース1と同様の実験を行う。コンデンサの蓄電能力によって変動が緩和され、バランス調整は容易になる。両者の結果を比較して、風力や太陽光発電などの変動電源の課題と対策の方向性を体験的に学ぶ。

基本プログラムの詳細を別記3に示す。

4.3 活用に向けて

(1) 教科との関わり

学習指導要領によると、中学校の教科において模擬装置による電力システムの体験実験を利用できる箇所は、理科第一分野の単元「科学技術と人間」の「エネルギー」における「エネルギー資源」である。ここでの学習内容は、「人間は、水力、火力、原子力などからエネルギーを得ていることを知るとともに、エネルギーの有効な利用が大切であることを認識すること」と記述されており、電気エネルギーを通してエネルギー資源の利用に関する学習指導がなされる。

T社の理科教科書「新しい科学3年」での「エネルギー資源」に関する記述を例にとると、まず、電気エネルギーの安定供給の重要性が述べられ、続けて「発電の方法」「放射線の性質」「再生可能なエネルギー資源」の学習が展開される。安定供給の課題では、「需要に応じて、どのように電気エネルギーを供給しているのだろうか」との問いかけがなされ、それを考えるために、模擬装置と類似の簡単な電気回路を使って「電気エネルギーの需要と供給の関係を調べる実験」を、「やってみよう」と記載されている。この部分については、模擬装置を直ちに活用することが可能である。

(2) 実践と教具の紹介

平成26年度の3学期に、T社の理科教科書を使用しているK中学校において、「エネルギー資源」の箇所を対象としたINSSによる2時間の出前授業を行った。模擬装置を使った実験を最後に行った以外は、ほぼ教科書の記述に沿って授業を展開した。授業後、需要と供給を合わせて電気を届ける仕組みについて、「よく分かった」「分かったような、分からないような・・・」「よく分からない」の選択肢で、アンケートをしたところ、12名が「よく分かった」、10名が「分かったような、分からないような・・・」

の回答だった(総数22名)。生徒全員が「よく分かった」とはならなかったが、担当の教師からは、模擬装置を使うことによって教科書に示されている実験のねらいが、生徒だけでなく教師にも伝わったとの評価をいただいた。この実践結果は総合的な教材に、活用例2理科「エネルギー資源の利用」として採用し紹介している。

今後の普及に向けて、模擬装置の概要を総合的な教材が揭示されているINSSのホームページ上^{*5}で、リーフレットとして紹介している。また、次に示すように、教師が集まる場があれば模擬装置を持ち込んで、直接紹介する活動も並行して実施している。

- ・エネルギー環境教育関西ワークショップ研究会^{*6} (H26.12.20)
- ・平成26年度エネルギー教育モデル校報告会^{*7} (H27.3.14)

紹介後のアンケートでは、体験した教員全員から使ってみたいとの感想をいただいている。

4.4 交流の模擬装置

総合的な教材の中では交流の模擬装置の提案も行っている。主題2「電気を届ける仕組み」(表2参照)のワークシートに、図4に示す交流の模擬装置による実験を紹介している。交流の場合、手回し発電機が1台に限定され、多人数が同時に参加して楽しく実験を行えない難点がある。しかし、需給バランスの変化を実系統同様、周波数の変動で確認で

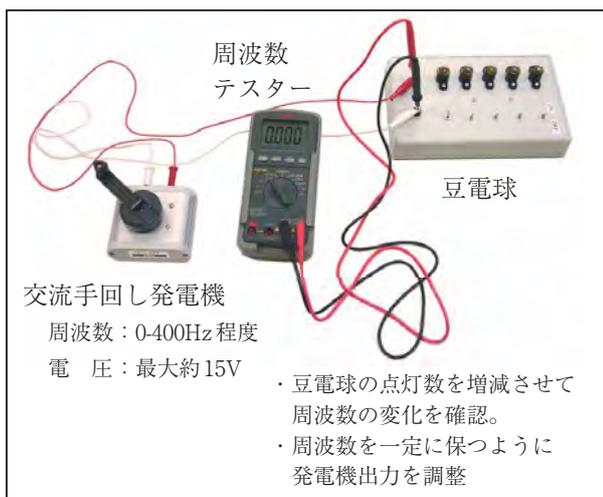


図4 交流の電力系統模擬装置

*5 http://www.inss.co.jp/book/introduce/book_c07.htm

*6 京都教育大学の山下教授を研究代表にINSSが関西圏の教員を対象に運営するエネルギー環境教育の研究会。

*7 経済産業省資源エネルギー庁が平成26年度に始めたエネルギー教育モデル校事業に選定された学校による成果の報告会。

きる長所がある。

別記4に直流と交流による模擬装置の主な相違点を参考に示す。

5. おわりに

学校教育の場において、今後の日本のエネルギーや電力利用を本格的に扱った授業が行われるには、総合的な教材が活用されることが望ましい。しかし、馴染みが薄いことや難しい内容が含まれることから、実践に結び付くまでの道のりは遠いと考えられる。このため、総合的な教材を使った学習へつながることをねらいに、模擬装置を使って電力系統の運用を楽しく体験する学習を提案した。身近な教具を使った学習体験が、原子力発電や電気を届ける仕組みに対する関心を育み、そこでの気付きや疑問が、総合的な教材を使った本格的な学習へとつながっていくことを期待している。

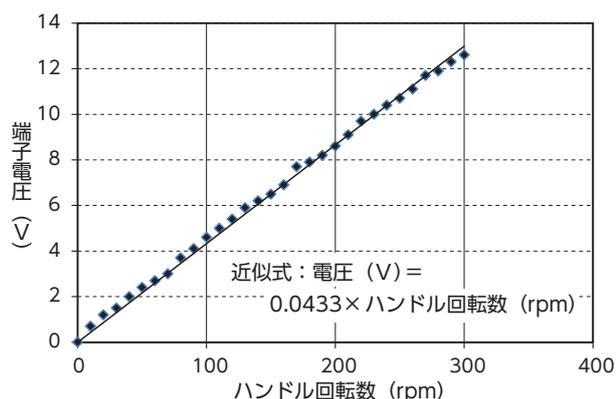
別記1 手回し発電機、豆電球、LED及び電子メロディの電気特性測定結果

1. 測定装置

- ・直流電圧計及び電流計はK中学校のものを借用。
電圧計：端子3V・15V・300V, class2.5
電流計：端子50mA・500mA・5A, class2.5
- ・手回し発電機の回転装置及び回転計は、模擬装置用に制作したベースロード用の定速発電機を利用。
可変範囲：1000rpm程度まで可能
回転数表示：10rpmごとのデジタル表示

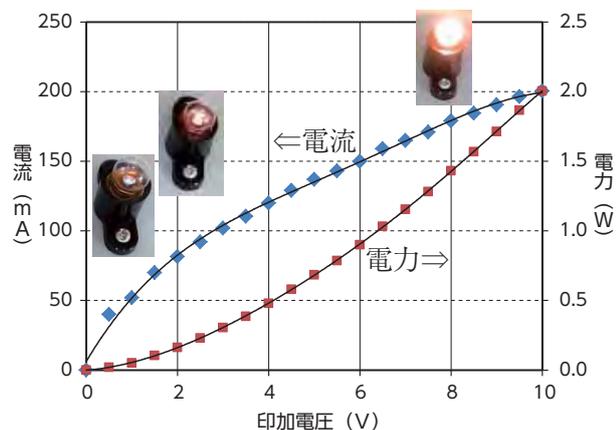
2. 直流手回し発電機の無負荷特性

- ・対象製品はケニス手回し発電機HG標準タイプ
最大電圧12V, 内部抵抗3.2Ω (テスターで測定)
ハンドル回転に対する増速比49.5
- ・測定結果



3. 豆電球の電圧特性

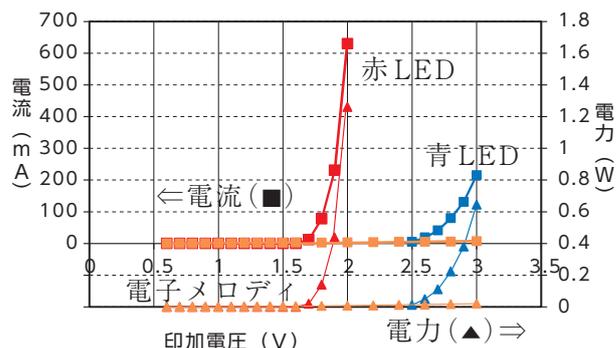
- ・仕様
電圧6.3V, 電流0.15A (42Ω)
非通電時抵抗3.6Ω (テスターで測定)
- ・測定結果



豆電球の写真は対応する電圧での点灯状況, 0.6V程度からフィラメントが輝き始める。

4. LED, 電子メロディの電圧特性

- ・仕様
赤LED：DC2Vを10個並列で使用
青LED：DC3.2Vを10個並列で使用
電子メロディ：DC1.5～3Vを10個並列で使用
- ・測定結果



別記2 エネルギー教育フェア2010公開授業でのプログラムの概要

1. プログラム名

電気を届ける仕組み

2. 授業のねらい

- ・電気が起きる原理を体験する。
- ・電気が発電所から家庭に届く仕組みの概念を知る。
- ・太陽光・風力発電を利用する場合の問題点と対策の方向性の概念を知る。

3. 対象

公募の小学生～中学生

4. 実施日

平成22年3月14日 (土)

5. 授業展開の概要

(1) 導入

地球温暖化防止やエネルギーセキュリティの観点から、原子力発電や太陽光・風力発電の重要性が高まっていることを確認。

(2) 発電の原理

電磁誘導による発電の仕組みを確認。また、模擬

装置での体験の予備知識として、コンデンサの蓄電能力を実験で確認。

(3) 模擬装置による体験実験

a. 日負荷調整

日負荷曲線に合わせて豆電球点灯数を変化させ、それに対応させて発電出力（運転台数や回す力）を増減して需給バランスを調整。

b. 太陽光や風力発電の模擬

手回し発電機1台を不規則に変化させ、変動電源が入るとバランス調整が難しくなることを体験

c. 蓄電効果の模擬

コンデンサを接続してbと同様の実験を行い、変動が緩和されることを体験。

(4) まとめ

- ・実際の電力系統でも、ベストミックスを追及しながら需要と供給の同時同量が達成されている。
- ・太陽光や風力発電を増やすには、蓄電機能を増加するなどの対策の準備も必要。

別記3 見直し後の電力系統模擬装置の基本プログラム

1. 実験の条件

- ・1人の指導者と4人の参加者を想定。
- ・番号で示すのは指導者の操作、⇒で示すのはそれを受けた参加者の操作。
- ・豆電球は最大15個、手回し発電機はベースロード用を入れて最大5個使用。
- ・需給のバランスがとれているかの目安は、電圧計指示で4.5V前後、またはこの時の豆電球の明るさ。

2. プログラム

プログラム1. 1日の運用を体験：日負荷曲線に沿って、発電量を調整してみよう

- ①深夜の状態（図1参照）に対応させて、ベースロード用の発電機を1台運転し、豆電球を2個程度点灯させた状態から開始する。
- ②朝から昼間までの負荷変化に対応させて、豆電球の点灯数を急増させ、最終的に全部点灯とする。
⇒参加者は協力して、豆電球の明るさ（又は電圧）を保つように、手回し発電機の出力を調整（増加）する。

- ③夕方から深夜までの負荷変化に対応させて、豆電球の点灯数を徐々に減らし、最終的に2個のみ点灯とする。

⇒参加者は協力して、豆電球の明るさ（又は電圧）を保つように、手回し発電機の出力を調整（低下）する。

（注1）特別に指導がなければ、参加者は一斉に調整しようとする傾向がある。最初は注意事項なしで行い、次に各参加者に火力や水力発電などの役割を割り当て、指導者の指示に従って、発電の開始また停止を行うよう指導するとよい。

（注2）豆電球が全部点灯し参加者全員が発電に参加しているときに、1台を停止させると、一気に豆電球が暗くなる。これは実際の電力系統では発電所の故障に対応する。予備の手回し発電機を接続しておき、1台停止と同時に回し始めると、影響を少なくできる。これは予備力に対応する。

プログラム2. ある発電機への対応：変動電源がかわった時のバランス調整をしてみよう

〈ケース1：特別な対策なし〉

- ①ベースロード用の発電機1台運転、豆電球2個点灯状態から、豆電球の点灯数を5個程度まで順次増加する。
⇒参加者aは、豆電球の明るさ（又は電圧）を保つように、手回し発電機の出力を調整する。
- ②参加者bに、手回し発電機を不規則に運転（止めたり動かしたり）するように指示する。
⇒参加者aは、豆電球の明るさ（又は電圧）を保つように、手回し発電機の出力を調整する。
- ③参加者aにうまく調整できたか確認する。参加者bには担当した発電は実際の電力系統では何発電に対応するか尋ねる。

（注1）参加者bは風力や太陽光発電に対応する。参加者aは水力や火力発電のような調整電源に対応する。

（注2）豆電球の点灯数を10個程度とし、参加者cにも調整電源の役割をさせて同様の実験を行うと、点灯数が多い方が変動は緩和されることがわかる。これは系統規模の効果に対応する。

〈ケース2：ケース1にコンデンサを追加〉

①連系装置にコンデンサ1個（1ファラッド）を接続し、ベースロード用の発電機1台運転、豆電球2個点灯状態から、豆電球の点灯数を5個程度まで順次増加する。

⇒参加者aは、豆電球の明るさ（又は電圧）を保つように、手回し発電機の出力を調整する。

②参加者bに、手回し発電機を不規則に運転（止めたり動かしたり）するように指示する。

⇒参加者aは、豆電球の明るさ（又は電圧）を保つように、手回し発電機の出力を調整する。

③参加者aに、ケース1に比べてどのように変わったか、どうして変わったのか尋ねる。

（注1）コンデンサによって豆電球の明るさ（又は電圧）の変化は抑制される。実際の電力系統における揚水発電や蓄電池などの役割に相当する。

（注2）実際の電力系統において、コンデンサに相当する装置などが増強されれば風力や太陽光発電の受け入れ量を増やすことができるが、コストを誰が負担するかなどの課題があることも補足する。

る仕組みを模擬体験する学習プログラムの開発、日本エネルギー環境教育学会第5回全国大会論文集、183-184。

(3) 橋場隆（2015）. 電力系統の運用を体験してみよう！, 平成26年度エネルギー教育モデル校報告会レジュメ集, 53-62.

(4) 橋場隆・渥美寿雄他（2015）. わが国のエネルギーのあり方を考える教材の開発：3.11を踏まえ原子力発電とどう向き合うか, エネルギー環境教育研究, Vol.9 No.2(第17号),67-74.

(5) 橋場隆・大磯眞一・佐島群巳・高山博之・山下宏文・鈴木真・石原淳・野口芳江・井元りえ・妹尾理子・中村俊哉・前田浩平（2010）. 教科学習におけるエネルギー環境教育用教材の開発, Journal of the Institute of Nuclear Safety System, Vol.17, 44-59.

(6) 橋場隆・小鍛冶優・伊佐公男（2014）. 手回し発電機の手応えに関する一考察, 平成26年度日本理科教育学会北陸支部大会研究発表要旨, 43.

(7) 文部科学省（2008）. 中学校学習指導要領, 平成20年文部科学省告示第28号.

別記4 直流と交流の電力系統模擬装置の比較

	直流の模擬装置	単相交流の模擬装置
発電機の種類	直流手回し発電機.	交流手回し発電機.
発電機の運転台数	極性を守れば、容易に増減可能.	同期が困難なので、1台のみ.
同時同量の指標	豆電球（光量）や電圧を一定に維持することで代用.	周波数を一定に維持.
蓄電機能	電池やコンデンサで、簡単に模擬可能.	AC-DC変換回路などが必要になり困難.

（注）実際の電力系統は三相交流

引用文献

- (1) 岡村定矩・藤嶋昭他（2011）. 新しい科学3年, 中学校理科用文部科学省検定済教科書, 東書, 平成23年2月4日検定済, 平成26年2月10日印刷
- (2) 中村高・大野豊・小島結・濱崎貴志・橋場隆（2010）. 電気を様々な発電所から家庭へ届け