

教育効果の高い卓上型汽力発電模型教材の開発 — 小中学生を対象とした原子力関連教材の開発 —

川村 淳浩^{*}, 戸嶋 卓行^{**}

Development of Steam Power Generation Teaching Materials that have a Greater Educational Effect

— Development of Nuclear Power Teaching Materials for Primary and Secondary Students —

Atsuhiko KAWAMURA and Takayuki TOJIMA

Abstract: In the nuclear power education project promoted by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science & Technology (MEXT) in Japan, the Institute of National Colleges of Technology (KOSEN) has advanced the practical training of engineers through cooperation among institutions in the nuclear power field since 2011. The National Institute of Technology (NIT), Kushiro College participates in this training program, along with other colleges in Japan.

This report is written with the purpose of discussing the selection of the steam turbine as teaching material for nuclear power education for primary and secondary school students. Furthermore, this report also introduces creative engineer training, which is currently being applied through the development of such teaching materials.

Key words: Teaching material, Creative engineers training, Energy, Nuclear power

1. はじめに

電力供給は、私たちの生活や様々な産業にとってなくてはならないものである。しかし、平成23年3月に発生した福島第一原子力発電所事故を契機に我が国の原子力発電を取り巻く状況は一変し、全国の火力発電所をフル稼働させることでこの状況を凌いでいる。ところが、核燃料を反応させる原子力発電所や化石燃料を燃焼させる火力発電所は、どちらも発生する熱で水を沸騰させ、高温高圧の水蒸気を蒸気タービンに吹き付けて発電機を駆動する「汽力発電」が根幹技術となっていることはあまり知られていない。北海道の原子力発電所は、札幌市のある道央地域に唯一設置されているだけであるが、火力発

電所は、釧路工業高等専門学校（以下、本校）が立地する北海道東部地域（以下、道東地域）を含めて道内各地に設置されている。エネルギー政策は、我が国の将来を担う世代にとって重要な課題のひとつである。このため、この事故を受けて原子力や放射線に関する国民的な関心が高まり、これらの教育が小中学校や高等学校の新しい学習指導要領で求められるようになった¹⁾。また、本校では、豊かな創造力と論理的な実行力を備えた創造型技術者を育成するアプローチのひとつとして、画一的な解答が存在しないテーマに対して計画、実行、検証、そして改善という一連のサイクルを経験させる取り組みを展開している。

以上のような背景から、本科卒業研究テーマのひとつとして、小中学生を対象とした汽力発電教材の開発を取り上げ、平成25年度から取り組んでいる²⁾。

^{*} 釧路工業高等専門学校機械工学科

^{**} 釧路工業高等専門学校機械工学科5年

これは、独立行政法人国立高等専門学校機構（以下、国立高専機構）として文部科学省から受託している原子力人材育成関連事業のもとで実施されている「原子力関連卒業研究・特別研究の高専間研究連携」としても実施している。本校は、全国の他の国立高等専門学校（以下、国立高専）と共に、平成 23 年度からこれらの一連の事業に参加している¹⁾。この教材の開発においては、各高専で得られたノウハウや他高専との討議結果等を開発教材にフィードバックすることで、学生の創造力と実行力を更に高めることも目指している。

本稿では、平成 25 年度にはじめて開発した卓上型汽力発電模型教材²⁾をベースとして、その教育効果を高める目的で平成 26 年度に改良した教材の概要と、これを用いた科学体験イベント等での教育効果の検証等について概説する。

2. 教育効果の高い教材への改良

平成 25 年度に製作した卓上型汽力発電模型教材は、発電をおこなう汽力発電模型と、発電の状況を確認する LED で構成していた³⁾。この教材を用いた科学体験イベントにおける評価⁴⁾を分析したところ、前者には発電効率の低さ、後者には表現力の乏しさが教育効果を向上させるために必要な課題であることがわかった。以下に、平成 26 年度に実施した改良内容について、項目毎に説明する。

2.1 汽力発電模型の改良 (図 1)

平成 25 年度に製作した汽力発電模型は、ボイラ部の主要部を圧力なべ（ティファール, P4314033）、蒸気タービン発電部の主要部を送風ファン（六合製作所, T1-1214011）と発電モータ（アーテック, 93432）で構成した。圧力なべは、標準装備されている安全弁や溶融栓などの安全機能を残したまま、調圧用の蒸気排出口から高温高圧の蒸気を取り出す構造とした。また、操作ミスなどによる配管の閉塞を防ぐために閉止弁などは一切設けず、なべの内圧を確認するブルドン管式圧力計と蒸気逃し管を設けた。そして、圧力なべへの入熱には、カセットガスコンロを用いた。これは、科学体験イベントなどの会場で必ずしも電力を使用できるとは限らないことから、機動性を考慮してのことであった。一方、蒸気タービン発電部は、送風ファンを開放型のケースで囲い、風力発電用モータを同軸で駆動する構造とした。これらの結果、蒸気圧力 0.04 MPa のときに回転速度 2,000 rpm まで上昇したにも関わらず、発電電圧 0.7 V 程度しかなく、LED 等を低輝度に点灯させることしかできなかった。蒸気タービン発電部には改良の余地が残されていると考え、下記 2 点を

中心とする改良をおこなった。

(1) 蒸気が持つエンタルピーから送風ファン回転運動へのエネルギー変換効率の向上

圧力なべに取り付けた配管の先端から噴出される高温高圧の蒸気が持つエンタルピーを効率よく送風ファンの回転運動に置き換える工夫を施した。具体的には、送風ファンの外径とほぼ等しい円形の容器に納め、昇降台の上に送風ファンを設置した。前者は、送風ファンに効率良く蒸気を当て、衝突後の蒸気の膨張・拡散を減らす目的である。後者は、送風ファンへの衝突角度を微調整できるようにする目的である。ここで用いた容器は、耐熱性が必要となるため、耐熱温度 200°C の ABS 樹脂製電子レンジ調理容器を流用した。この調理容器には比較的簡単に着脱ができる蓋が付属しているが、内圧によって蓋が吹き飛ばないように、内圧を逃す穴がつけられている。これらの優位な機能を損ねないように、容器の底面中央に回転軸を通して送風ファンを取付け、側面に蒸気が噴出する耐熱耐圧配管の先端を指し込む穴をあけ、適切な角度で蒸気を送風ファンに当てるように昇降台を設置した。以上の工夫によって、蒸気が始まったばかりの比較的低い蒸気圧でも送風ファンが回転するようになり、改良前よりも低い蒸気圧力で同じ回転速度が得られるようになった。また、送風ファンの回転中に蓋を外して、その回転の様子を披露する特徴を加えることができた。

(2) 回転運動から電力へのエネルギー変換効率の向上

送風ファンの回転運動を効率良く電力に変換する工夫を施した。具体的には、発電効率の良い発電モータ（XiKIT, XGM-RA）に置き換え、発電モータを直接駆動する方式からプーリで増速する方式に変更した。後者による付加的効果として、送風ファンを入れた容器の隙間から洩れた蒸気や水滴が発電モータにかかりづらくすることができた。



図 1 改良した汽力発電模型の概観

2.2 街並み模型の製作 (図2)

平成 25 年度に採用した発電状況の表現方法は、科学体験イベント参加者が発電モータの出力端子に接続する LED の種類をつなぎかえるものとした⁴⁾。しかし、煩わしさの割に点灯させることのできる LED の個数も少なく、輝度も低かったため、訴求力がいま一つであった。そこで、電力の需要と供給が日常生活に密着したものであることを視覚的に理解してもらうために、新たに街並み模型を製作した。これは、1/150 スケールの複数の住宅と街路灯で構成され、住宅内と街路灯に LED を組み込み、点灯する LED の個数を発電電圧に連動させたものである。すなわち、発電電圧の LED レベルメータである。これは、2 種類の電圧を比較して結果を出力するコンパレータ (比較器) IC を用い、マイナス (-) 端子の電圧がプラス (+) 端子の電圧を上回った場合に LED が点灯するコンパレータを基本回路としている。本模型では、これを 24 段連ねて、0~3.5V の入力電圧の大きさに応じて 24 個の LED を点灯させる基本回路を用いた。具体的には、マイナス端子には汽力発電模型からの電圧信号を、プラス端子には LED を点灯させたいしきい値となる基準電圧を加えている。ここで、汽力発電模型からの電圧は、3.5V を超えて入力されるため、上述の基本回路の前段に半固定抵抗を設け、最大入力時に全ての LED が点灯するように調整できるようにした。また、街並みの情景を演出するために、街路灯には白色の LED、住宅には緑色や黄色の LED を用いた。更に、汽力発電模型から街並み模型に供給される送電線を 1/150 スケールの高圧鉄塔模型で保持する構造とし、発電所と市街地を結ぶ情景を演出した。

3. 開発した教材による実演展示

本稿執筆時点までに、2 回の実演展示を実施済である。以下に、それぞれの内容の詳細を示す。

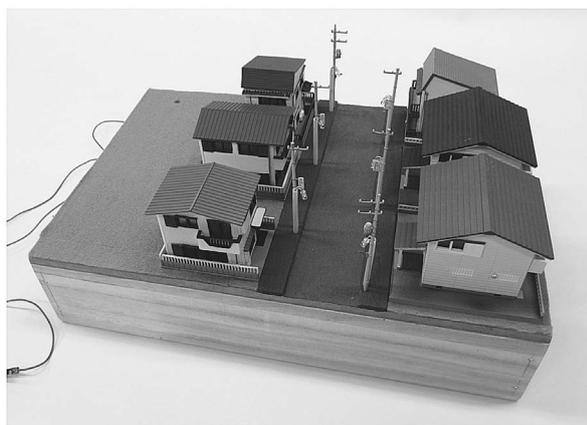


図2 製作した街並み模型の概観

3.1 平成 26 年度オープンキャンパス

平成 26 年 7 月 26 日 (土) と 27 日 (日) の 2 日間、本校で開催されたオープンキャンパス (以下、O.C.) の機械工学科熱工学研究室展示として、本教材の実演展示をおこなった。また、説明用パネルも教材の一部として製作し、掲示した。

蒸気が持つエンタルピーから送風ファン回転運動へのエネルギー変換効率を向上させたことと、回転運動から電力へのエネルギー変換効率を向上させたことで、発電電力を飛躍的に向上させることができ、30V 程度の発電電圧が得られるようになった。また、送風ファンの回転中に容器の蓋を外して、その回転の様子を披露することができるようになり、より判り易い説明が可能となった。

発電電力は、高圧鉄塔模型と送電線を通して街並み模型に供給される構造としたことで、実際の発電所から私たちが暮らす市街地への電力供給を実感できるものになった。

街並み模型では、電圧の上昇に伴って、最初に街路灯が 1 本ずつ順番に点灯し、次に住宅の照明が 1 件ずつ順番に点灯する構成としたことで、臨場感をもって、幅広い年齢層から判り易いとの評価が得られた。しかし、各色の LED の明るさに違いがあったため、近づいて見る必要が生じた。これは、制御回路の電流制限抵抗を LED の特性、必要な明るさ、そして電源電圧をもとに最適設計していなかったためであり、今後の課題となった。

3.2 平成 26 年度高専祭機械工学科展および日本機械学会メカライフの世界展 (図3)

平成 26 年 10 月 25 日 (土) と 26 日 (日) の 2 日間、本校で開催された学校祭の機械工学科熱工学研究室展示として、本教材の実演展示をおこなった。また、説明用パネルも教材の一部として製作し、掲示した。

前述の O.C.と同様の展示であったが、ここでは、

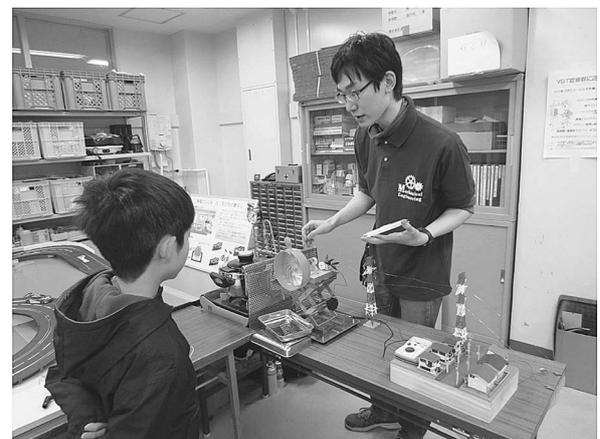


図3 説明の様子

新たに製作した教材である「ペダル式発電機による人力スロットレーシング」と共に説明をおこなった。この教材は、電力を生み出すことのたいへんさと瞬時に適正制御することの困難さを伝えるために製作したものである。汽力発電模型教材が、化石燃料であるカセットガスを一次エネルギーとしてエネルギー変換することで、電力を取り出すものであるため、これらの比較をしてもらうことで、発電に対する認識を更に深めることができた。

その一方で、LED レベルメータの制御回路に商用電源を利用していることから、この電力を発電電力で賄うことができれば、機動性がより向上することがわかった。

4. 終わりに

本稿では、創造型技術者育成の取り組みの一例として、本科卒業研究で実施している「教育効果の高い卓上型汽力発電模型教材の開発（小中学生を対象とした原子力関連教材の開発）」について紹介し、科学体験イベント等の実施経験等を含めた教育効果の検証等について概説した。本教材は、平成 25 年度に開発した教材をベースとして発電効率と表現力を向上させる工夫を施したものである。また、原子力・放射線分野の教材開発は、幅広い分野の多元的な要素を必要とするため、与えられた課題を客観的かつ多角的に分析し、最適な方策を抽出するプロセスを経験させるには、絶好の本科卒業研究テーマであったと考えている。

今後、新たに判明した課題に対する改良を進め、教材完成度と教育効果の更なる向上のために、他高専のノウハウ活用や提供を行いながら、機会を捉えて実演展示や体験教室を継続実施していきたいと考えている。

参考文献

- [1] 川村淳浩：原子力人材教育における創造型技術者育成の取り組み，釧路高専紀要 46, p27-30, (2012)
- [2] 川村淳浩，ゴパーラジィオン・スプラマニアン：原子力人材教育における創造型技術者育成の取り組み—小中学生を対象とした原子力関連教材の開発—，釧路高専紀要 47, p17-20, (2013)