

# 卓上汽力発電模型教材の出力制御について

## — 小中学生を対象とした原子力関連教材の開発 —

川村 淳浩<sup>\*</sup>, 渡邊 駿<sup>\*\*</sup>, 不藤 佑介<sup>\*\*\*</sup>

### Development of Output Control System of Steam Power Generation Teaching Materials

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

Atsuhiko KAWAMURA, Shun WATANABE and Yusuke FUDO

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

This paper reported the output control system which developed for the steam power generation teaching material for nuclear power education for primary and secondary school students. Furthermore, this paper reported also introduces creative engineer training, which is currently being applied through the development of such teaching materials.

**Key words:** Output control, Teaching material, Creative engineers training, Nuclear power

#### 1. はじめに

我が国の原子力発電は、福島第一原子力発電所事故以後、全面廃止の気運が一時高まった。その後、我が国の地政学的な状況から、エネルギーセキュリティの重要性が改めて再認識された。現在では、事故以前と同様に、電力の安定供給を担う重要なベースロード電源と再確認されている。ただし、それまでの排他的な安全神話は完全に捨て去られ、リスクマネジメントの考え方の基に運営させる取り組みが導入されている。その一環として、教育機関には、原子力・放射線教育が義務付けられ、様々な取り組みがなされている。

独立行政法人国立高等専門学校機構（以下、国立高専機構）としては、文部科学省から原子力人材育成関連事業を受託し、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<sup>[1]</sup>。この取り組みの中で実施している「原子力関連卒業研究・特別研究の高専間研究連携」において、本校では、本科卒業研究テーマのひとつとして、平成 25 年度から小中学生を対象とした汽力発電模型教材の開発を実施している<sup>[2]</sup>。この事業では、各高専で得られたノウハウや他高専との討議結果等を各校の開発教材にフィードバックすることで、実施校の学生の創造力と実行力を更に高めることも目的のひとつと据えている。

本稿では、平成 26 年度に製作・改良した卓上型汽力発電模型教材<sup>[3,4]</sup>をベースとして、学習者の興味

<sup>\*</sup> 釧路工業高等専門学校機械工学科

<sup>\*\*</sup> 釧路工業高等専門学校電子工学科

<sup>\*\*\*</sup> 釧路工業高等専門学校機械工学科 5 年

を引き付けて教育効果を更に高めることを目的として本年度開発した教材の概要と、この教材を用いた科学体験イベント等での検証等について概説する。

## 2. 本年度開発教材の概要と主要技術

これまでの教材開発では、原子力発電と火力発電に共通する技術として、汽力発電をコアテーマとして取り組んできた。ところが、火力発電と汽力発電の関連性は容易に連想できるものの、原子力発電とのそれは結び付けにくいとの指摘をたびたび受けていた。そこで、本年度は、原子力発電が担う「ベース電力需要」と、火力発電など様々な電源が担う「変動電力需要」という切り口で説明する教材とすることとした(図1)。原子力発電は、急峻な変動電力需要への応答を得意とせず、定格出力で長い期間運転することに適したベースロード電源である。本教材では、これを電池で表現することにした。これに、卓上汽力発電模型教材からの発電出力を重畳することで、実際の変動電力需要に応じた電力供給を模擬するコンセプトである。

また、学習者の興味を引き付け、高い教育効果を得るために、昨年度開発した人カスロットレーシング教材<sup>4)</sup>を改良して統合することとした。

以下に、本教材を構成する主要部分の技術的な概要について記述する。

### 2.1 人カスロットレーシング

市販されているスロットレーシング(京商, Dslot43)をベースとした。スロットレーシングは、モータ内蔵模型自動車の車体底面に取り付けられたガイド(突起)が、環状コース路面のレーン(車線)毎に設けられたスロット(溝)にはまりながら、レーンに沿って走行するものである。路面のスロットを挟んで設けられた正負極のレール(電路)から、車体のガイド横に取り付けられた集電ブラシで駆動電力を得る構造となっている。レールへの供給電圧によって車体の走行速度制御をおこなうため、平成

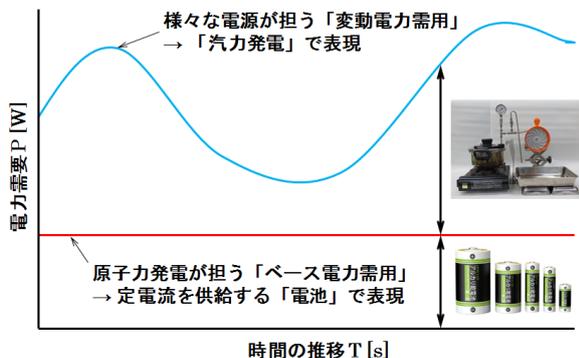


図1 ベース電力需要と変動電力需要の説明

26年度に開発した足踏み式発電機を適用した。これは、外径300mm(12インチ)の一輪車を原動車として、手回し発電機(アーテック, 008503)の発電モータを増速比73.2で駆動するものである<sup>4)</sup>。

スロットレーシング用に市販されている車体には、ダウンフォースを生み出してコーナーの通過速度を向上させるために、車体底面に磁石が埋め込まれている。しかし、速度過大時に突然コースアウトしてしまうため、走行速度が限界付近に近づいたかどうかを見極めることが困難であった。そこで、この磁石を取り外し、更に低 $\mu$ 材質のタイヤに交換した。これにより、コースアウトする前兆としてドリフト走行する状態が得られ、足踏み式発電機の習熟度なしに操縦の楽しさを味わいながら、限界速度を察知して運用することができるようになった。図2に、ダウンフォース磁石などの有無によるレール供給電圧と車体走行速度の計測結果を示した。なお、車体走行速度は、1周4.2mの環状コースにおける平均走行速度である。レール供給電圧4V未満では車両は動き出さないが、4~4.9Vの低速域では慣性が小さいためにコース上の小さな突起や集電ブラシの接触不良などのために安定的な周回を得ることができなかった。一連の取り組みの結果、レール供給電圧4.9V以上であれば周回走行が実現でき、6.5V付近で最高速度となり、更に電圧を上昇させるとドリフト走行によるロスで走行速度が低下し、7.25V以上ではコーナーでコースアウトする特性が得られた。前述の足踏み式発電機は、車体がコースアウトする程のレール供給電圧をかけることができる。

### 2.2 卓上汽力発電模型

ボイラ部の主要部は、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(アーテック手回し発電機008503用)で構成されている。圧力なべは、市販状態で標準装備されている安全弁や溶融栓などの安全機能は確保したまま、調圧

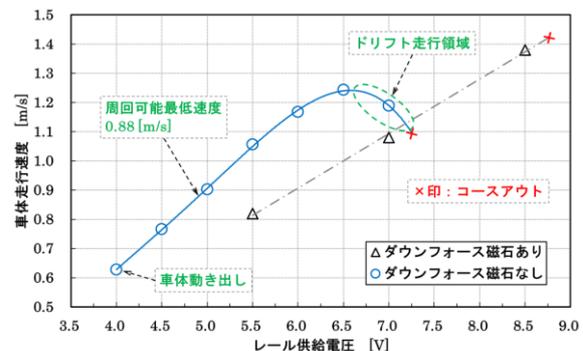


図2 レール供給電圧と車体走行速度の関係

用の蒸気排出口から蒸気を取り出す構造としている。圧力なべへの入熱には、カセットガスコンロを用いた。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、発電モータをプーリで増速する構造とした。後述の発電電圧を得るために、増速比を2.6とした。

### (1) 出力制御回路

発電モータによる発電と電池からの電流を合成して、前述のモータ内蔵模型自動車を駆動する場合、発電モータの内部抵抗が電池のそれよりも大幅に低い場合、これらを直接接続すると、直列や並列の回路構成に関係なく、電池で発電モータと車体のモータが駆動されてしまう。そこで、電池からの電流が発電モータに流れないようにして、発電モータによる発電電圧によって回路からの出力電圧を調節し、擬似的に発電モータと電池の電流を合成しているように見せる回路を製作した(図3)。ここでは、抵抗R1とR2を接続することでトランジスタにバイアスをかけ、出力端子OUTへ常に任意の電圧を与えている。また、R1とR2の値関係によりRCとOUTへかかる電圧は調整可能であり、OUTの最低電圧や出力範囲を変更することができる。RCの値によって、OUTへ流す電流量を調整する。そして、トランジスタのベースに発電モータからの電圧を与えることによって、R2とOUTの電圧を増加させ、最大でおよそVの値(12.96V)まで出力電圧を調節することができる。ここで、発電モータをブリッジダイオードにつないでいるが、これはVからの電流が発電モータへ流れないようにするために使用している。更には、極性を間違えてつないだり蒸気タービンを逆に回転させたりするとトランジスタが壊れてしまう恐れがあるため、発電モータの極性や逆回転を無視できるように考慮している。

### (2) 出力制御回路の適用状況

図4に、製作した出力制御回路の適用状況を示した。電池は、原子力発電が担うベース電力需要を賅

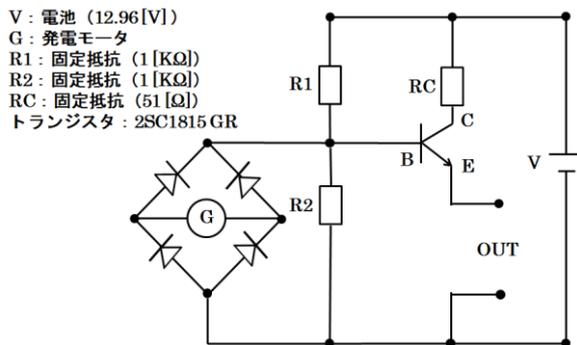


図3 電池と発電モータの電流重畳回路

う表現のために使用しており、発電していない状態でレールに4.9Vの電圧を供給している。この電圧は、前述のように周回走行させるために必要な最低電圧である。ここで、車体の走行速度を上昇させるためには、汽力発電の発電モータからの発電電流を重畳する必要がある。火力を調整することで、発電を開始する0.02MPaから調圧弁が作動する0.065MPaまでの間で、レール供給電圧を4.9~6.3Vの間で変化させることができる。レール供給電圧の内訳として、4.9Vは電池寄与に相当し、残りは発電モータ寄与に相当する。

## 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。

### 3.1 平成27年度オープンキャンパス

平成27年7月25日(土)と26日(日)の2日間、本校で開催されたオープンキャンパスにおいて、本教材の実演展示をおこなった。これは、平成28年度改組に伴うスマートメカニクスコース機械工学分野(現機械工学科)熱工学研究室展示として実施したもので、説明用パネルも教材の一部として製作し、掲示した。

ここでは、出力制御回路の製作途上であったため、まずは、2基の足踏み式発電機を用いて、2人の参加者による対戦型人カスロットレーシングを実施することで、参加者の関心を集めた。その後、1基の足踏み式発電機を取り外して、常時6.3Vの一定電圧を発生させる設定とした卓上汽力発電模型教材との対戦に挑んでもらった。前述のように、この電圧で駆動される車体は、概ね最高の走行速度が得られる。対戦者が操作する足踏み式発電機は、車体がコースアウトする程のレール供給電圧をかけることができる。競技に勝つためには、コースの状況に応じて回転力を変化させたり持続させたりする必要があるため、学習者の興味を引き付ける教材としての魅

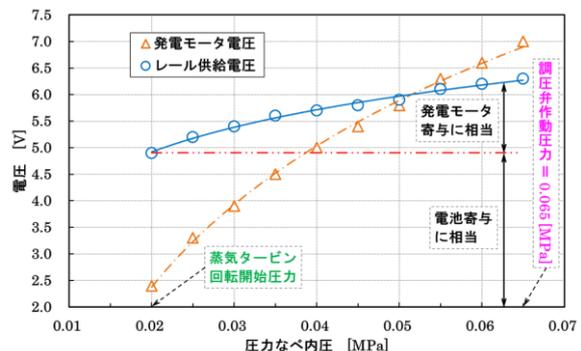


図4 電池と発電モータの電流重畳回路適用状況

力が十分に備わっていることが確認された。

### 3.2 平成27年度高専祭機械工学科展(図5)

平成27年10月24日(土)と25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直し、掲示した。

前述のオープンキャンパスで試した1基の足踏み式発電機と卓上汽力発電模型教材との対戦型としたが、ここでは原子力発電が担うベース電力需要を電池で賄うことを表現する機能を実演した。すなわち、原子力発電を表現した電池によって低い走行速度で周回していた車体が、汽力発電の運転開始を受けて最高速度まで加速して走行速度を維持しながら周回するものである。対戦者は、急速に走行速度を増して最高速度で安定した走行を続ける車体に影響されて、自身が操作する車体の速度制御に高い関心を持って必死に対処する姿が認められた。

この教材によって、私たちの生活で必要な電力に対する関心を持ってもらうことだけでなく、ベース電力需要と変動電力需要に分けることで、制御特性の異なる電源がエネルギーセキュリティの観点から適用可能になることを伝えることができたと考えている。更には、卓上汽力発電模型教材が、化石燃料であるカセットガス(ブタン)からエネルギー変換によって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と考えている。

一方、参加者との対戦の中で、足踏み式発電機を用いて、直線で加速してコーナーは少し減速して駆け抜けるメリハリのある走行方法が、最も速い周回方法であった。これは、足踏み式発電機による出力制御の応答性が高いことを意味しているが、変動電力需要を一段と解りやすく表現する方法に通じるため、卓上汽力発電模型教材でも実現したいと感じた。



図5 高専祭機械工学科展における説明の様子

### 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「小中学生を対象とした原子力関連教材開発(人力発電と汽力発電による対戦スロットレーシングの製作)」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・26年度に開発した教材をベースとして、学習者の興味を引き付けて教育効果を更に高めることを目的として、出力制御機能を付加することで原子力発電を含むエネルギーセキュリティの考え方を伝えるように工夫したものである。また、原子力・放射線分野の教材開発は、幅広い分野の多面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(出力制御の応答性)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，ゴパーラジヨン・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)
- [3] 川村淳浩，戸嶋卓行：原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—，釧路高専紀要 48, p15-18, (2015)
- [4] 戸嶋卓行，川村淳浩：小中学生を対象とした原子力関連教材開発—人力スロットレーシングの製作と電力供給模型の改良—，教育システム情報学会 2014 年度学生研究発表会, p13-14, (2015)