

# エネルギー変換教材の開発\*

(発電所システムのモデル教材)

山崎博司

(技術教育講座)

北村健治\*<sup>1</sup>

(大学院教育学研究科)

藤田幸二\*<sup>2</sup>

(附属中学校)

(平成10年10月9日受理)

## Development of the Teaching Material of Energy Conversion System

— Teaching Material of Model Power Station —

Hiroshi YAMASAKI, Kenji KITAMURA and Koji FUJITA

### 1. はじめに

現代社会における生活の豊かさと便利さは、科学技術の進歩と大量のエネルギー消費により達成されてきたものである。エネルギーの大量消費は18世紀後半の第一次産業革命より始まり、そのエネルギー源は、主として化石燃料に依存してきた。現在の我が国においても一次エネルギー総供給の約6割は化石燃料に依存しており、この化石燃料を原料用(13.9%)、熱源用(53.1%)、動力用(13.3%)として、生活の様々な場面で使用している<sup>(1)</sup>。このエネルギー消費の増大は、地球温暖化など地球全体の環境にまで影響を及ぼし、人類の未来を左右する規模にまで達している。その一方で、近未来におけるエネルギー問題に関しては、解決策が確約されるに至っていないのが現状である。

このようにエネルギー問題が急浮上しているなか、学校教育でもエネルギー教育の必要性が注目されている。中学校技術科においても、社会情勢の変化から現行の学習指導要領における

---

\* 日本産業技術教育学会 第40回全国大会において講演

\*<sup>1</sup> 現在 浅川造船株式会社

\*<sup>2</sup> 現在 松山市立高浜中学校

領域の再編成に関する検討が行われており、朝井<sup>(2)</sup>、藤木ら<sup>(3)</sup>、小川ら<sup>(4)</sup>、河野ら<sup>(5)</sup>によって提案がなされている。これらのいずれの提案においても、エネルギー問題の重要性が指摘され、新領域の柱の一つとして「エネルギー」領域、またはそれに関連した新領域の創設が必須であるとされている。これらの検討では、「エネルギー」領域においては、科学的な内容から政治経済的な内容まで、多面的な内容を取り扱う必要がある点や「エネルギー変換」の重要性も指摘されている。教材の開発に関しては、大倉ら<sup>(6)(7)</sup>、福島ら<sup>(8)</sup>、三原ら<sup>(9)</sup>によってエネルギー変換を教示するための教材が検討されている。しかしながら、これらの研究は、スターリングエンジンを用いたものや既往の燃焼器の改善にとどまったものである。

以上のように、新領域「エネルギー」の重要な構成単位であるエネルギー変換に関しては、従前の「機械」領域のエネルギー変換教材に関するものが多く、「エネルギー」領域での使用を前提としたエネルギー変換教材の検討は見当たらない。また現代社会が抱えるエネルギー問題とエネルギー変換技術を、技術的な面だけでなく、資源、経済、環境面などと関連付けながら教示していくための教材に関する検討は、十分になされていないのが現状である。本研究は、「エネルギー」領域で活用しうるエネルギー変換教材を開発することを目的としたものである。従来の指導要領に基づいた場合、エネルギー変換は、飛び上がるピンポン玉などを観察させて理解させようと試みた研究<sup>(10)(11)</sup>等、自動車用内燃機関を主体として指導されることが主流である。一方、生徒の生活に密着したエネルギー変換システムとして、発電所が存在する。発電所は、最も大規模なエネルギー変換システムであり、その理解を図ることは、エネルギー危機、環境問題への興味・関心を持たせる教材となりうるものであると考えられる。よって、本研究では、発電所がどのようにしてエネルギーを変換し、電気エネルギーを生成しているのかを理解させるための教材として、火力発電所を模した教材を開発し、その性能の検討を行った。

## 2. 「エネルギー」領域の指導項目「エネルギー変換」の指導計画

教材を開発する場合、その教材によって指導される内容や指導計画が明確であることが必要である。しかしながら、本研究は領域再編を考慮したうえでの教材開発であり、新領域の構成および内容や各指導項目の目標などは確定したものではない。よって、教材の検討に先立ち、既往の研究で提案された領域の構成、内容、指導項目を参考として、指導計画を立案した。表1に、本研究で採用した「エネルギー」領域の指導計画を示す。指導計画の大略は、小川らの提案<sup>(4)</sup>に基づいた。エネルギー領域は時間数30時間で構成し、指導項目「エネルギー変換」の指導内容は本開発教材に対応する内容として、11時間を割り当てた。表2に、本研究で提案する「エネルギー変換」の指導計画における指導内容、指導のねらい、および具体的学習内容を示す。指導内容「1. エネルギー変換の原理」においては、簡単な変換機器として火力発電所モデルを示し、演示を通して変換のしくみを理解させることを目的とした。指導内容「2. 効率と損失」は、体験学習であり、火力発電所モデルを様々な条件で作動させて出力電圧の計測を行うなどの実験を通して、その構造や機能について理解を深めさせるとともに、効率と損失の概念を理解させることを目的とした。指導内容「3. 火力発電所モデルの製作と効率の理解」においては、製作学習を取り入れ、生徒に火力発電所モデルの一部を製作させて、それを実際に動作させることによって、その構造や動作を体験的に理解させることとした。

表1 「エネルギー」領域の指導計画

1. エネルギーの定義と種類	2	4. 省エネルギー	6
(1) エネルギーの定義	(1)	(1) 生活に必要なエネルギー	(3)
(2) エネルギーの種類と分類	(1)	(2) 省エネルギー	(3)
2. エネルギー利用の歴史と今後の需給見通し	6	5. エネルギーと環境	4
(1) 火と動力の発見	(1)	(1) エネルギー消費が環境に及ぼす影響	(2)
(2) 動力源の移り変わり	(1)	(2) 環境の保全	(2)
(3) 石油の時代	(1)		
(4) 石油代替エネルギーの開発	(3)	6. まとめ	1
		(1) エネルギーと未来	(1)
3. エネルギー変換	11		
(1) エネルギー変換の原理	(3)		
(2) 効率と損失	(1)		
(3) 火力発電所モデルの製作と効率の理解	(7)		

表2 指導項目「エネルギー変換」の指導計画

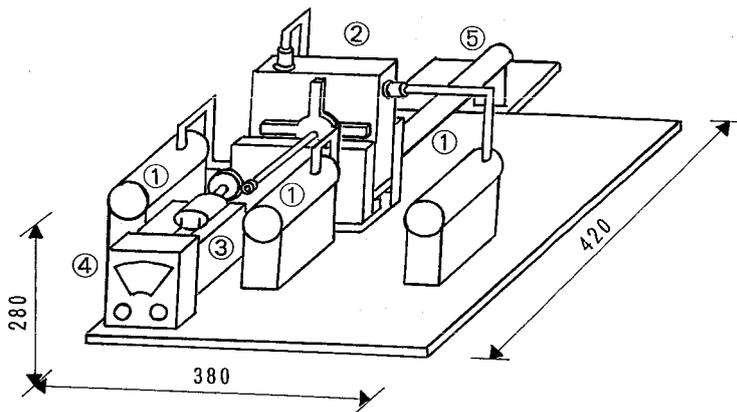
指導項目	指導内容	時	指導のねらい	具体的学習内容
エネルギー変換	1. エネルギー変換の原理	3	簡単な変換機器を取り上げ、その基礎的な原理について理解させる。	①変換機器の種類と分類 (原動機の種類, 1時間) ②変換の原理 (電気エネルギーの発生, 2時間)
	2. 効率と損失	1	効率と損失について理解させ、変換には必ず損失を伴うことを知らせる。	①効率の概念 ②損失の概念
	3. 火力発電所モデルの製作と効率の理解	7	火力発電所モデルの製作を通して、エネルギー変換の仕組みを理解させ、測定を通して、効率の概念の知識を定着させる。	①火力発電所モデルの製作 ②入力と出力の測定 ③効率の計算

### 3. 火力発電所モデル

前述の指導計画および指導内容に関する検討結果から得られた本開発教材が具備すべき条件を表3に示す。本報では、これらの条件を満たすような火力発電所モデル教材の開発を試みた。図1に、火力発電所モデルの概略を示す。機器構成は、ボイラ、タービン、発電機、電圧計、

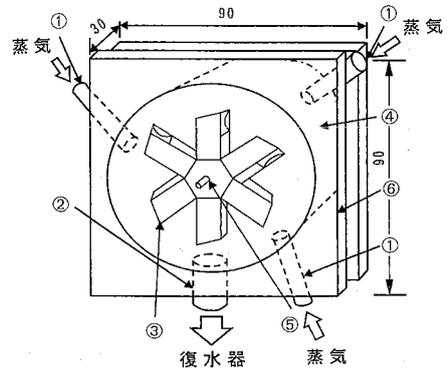
表3 本開発教材の条件

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 構造が簡単であり、エネルギー変換過程の把握が容易であること。</li> <li>2. 生徒による実験が可能であり、小型で安全性が高いこと。</li> <li>3. 装置全体または一部が、生徒の製作学習の題材となりうること。</li> <li>4. 作動流体の回収が可能であること。</li> <li>5. 外燃機関であること。</li> </ol>
--



- ① ボイラ
- ② タービン
- ③ 発電機
- ④ 電圧計
- ⑤ 復水器

図1 火力発電所モデル概略



- ① 蒸気供給口
- ② 蒸気排出口
- ③ タービンブレード
- ④ ガイド
- ⑤ 軸
- ⑥ タービンボックス

図2 自作タービン概略

復水器であり、生成される蒸気を自作の蒸気タービンに吹き付け、発電機を回すことによって発電を行う。ボイラは、取り扱いおよび入手の容易さを考慮して、蒸気機関用の教材として用いられている株式会社トップマンの技術・家庭科機械題材、ミニゴルド・スチームカーのボイラ部品を使用した。ここで用いられているボイラは直径38 mm、長さ100 mm と小型

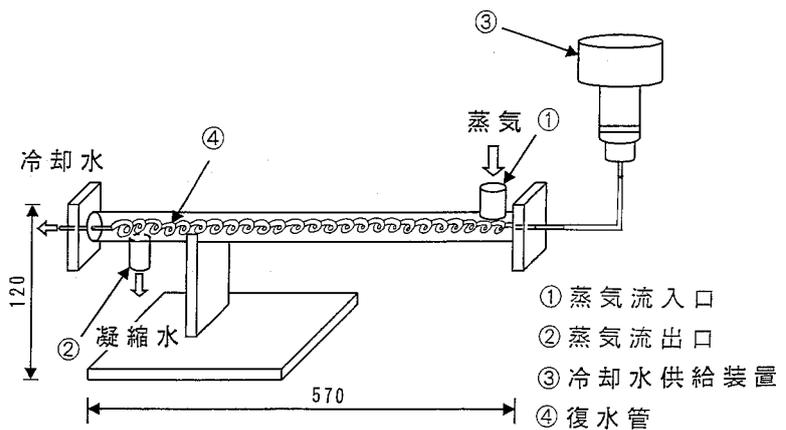


図3 復水装置概略

であり、黄銅製であるため加工が容易である。また圧力が規定以上に上昇したときには、蒸気を自動放出するばね安全弁を備え、危険防止にも配慮がなされている。燃料には市販の固形燃料を用いた。タービン及びタービンボックスの概略図を図2に示す。自作のタービンは衝動型タービンであり、ノズルの取り付け数(3個)と蒸気噴射角より最適な羽根数(6枚)を設定した。タービンボックスの中には円形のガイドを設けている。タービンはピニオンギヤを介して発電機と連結されている。発電機には市販の電動機(マブチモータ, RE-140RA)を使用し、タービンとモータのギヤ比は3:8とした。復水装置の概略を図3に示す。復水装置は、タービンボックスから排出される蒸気を冷却、回収するために用い、アクリルパイプと復水管

から構成されている。自作の復水管により開放型表面復水器を構成した。伝熱面となる復水管には直径 3 mm のアルミ管を用い、冷却水には水道水を使用した。

#### 4. 性能測定法

本開発教材の特性を把握することを目的として、蒸気発生および発電性能について測定を行った。図 4 に、火力発電所モデルに用いたボイラの発生蒸気量およびボイラ表面温度測定法の概略を示す。発生蒸気量は、200 ml 用メスシリンダーに所定量の水を入れ、ボイラから発生する蒸気を凝縮、回収して、水位の上昇量と経過時間から算出した。測定は、ボイラ内初期給水量を 5 ml, 10 ml, 15ml とし、ボイラ数を 1 台および 2 台とした場合について行った。また、蒸気温度の目安としてボイラの表面温度について測定を行った。ボイラの表面に素線径 0.05 mm の K 熱電対を取り付け、デジタルマルチメータ、16ビットパーソナルコンピュータによって構成した電圧計測システムを用いて測定した。ここでは、ボイラ内の初期給水量は 10 ml とし、加熱開始時を測定開始時刻とした。

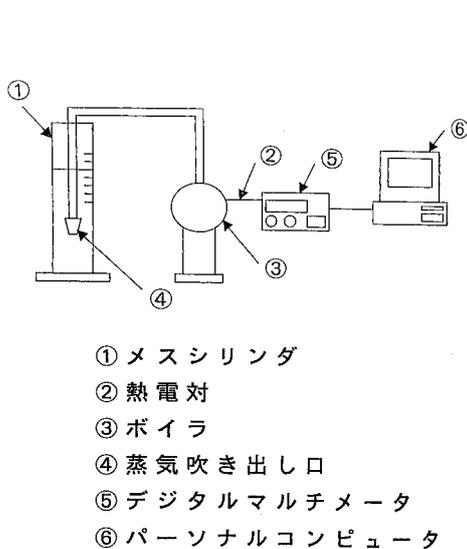


図 4 蒸気発生量および表面温度測定法概略

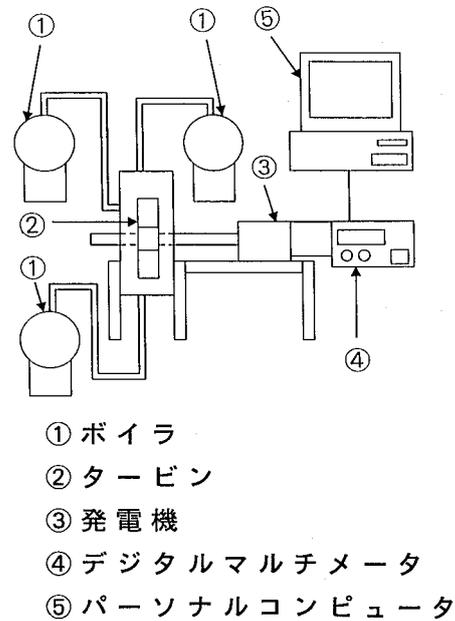


図 5 出力電圧測定装置概略

図 5 に、本開発教材の出力電圧測定装置を示す。発電機から得られる出力電圧の経時変化を、前述の電圧計測システムを用いて測定した。ボイラ内の初期給水量は 10 ml であり、ボイラ台数を 3 台および 6 台とした場合について測定を行った。

#### 5. 測定結果および考察

図 6 に、ボイラの蒸気発生量の経時変化を示す。横軸は加熱開始からの経過時間 (t)、縦軸は発生蒸気量 ( $l_v$ ) である。ボイラ内の初期給水量 (L) はそれぞれ 5 ml, 10 ml, 15 ml である。いずれの初期給水量でも蒸気発生開始時刻は、加熱開始から約 120 秒後とほぼ一致してい

る。蒸気発生量は加熱開始後にピークを向かえ、その後低下する。初期給水量 5 ml の場合は、発生する蒸気量が 0.07 g/s と、他の条件と比べて最も高いピーク値を示しているが、蒸気発生時間は約120秒と短いものとなっている。初期給水量 10 ml の場合は、約 0.05 g/s の発生量を保ち、約360秒後に終了する。初期給水量 15 ml の場合は蒸気発生量にばらつきがあるものの加熱開始から約410秒と、蒸気発生時間は長い。なお、約360秒時に蒸気発生量が極端に増加しているのは固形燃料を追加したためである。以上から、初期給水量 5 ml の場合は、得られる蒸気量のピーク値は高いが、持続時間は短く、初期給水量が 10 ml, 15 ml の場合については、蒸気発生量、蒸気発生時間に大差はないことがわかる。図7に蒸気発生量に対するボイラ数の影響を示す。横軸は加熱開始からの経過時間 (t)、縦軸は発生蒸気量 ( $I_v$ ) である。初期給水量 (L) は 5 ml, 15 ml であり、ボイラ台数が 1 台および 2 台の場合についての結果が示されている。初期給水量が 5 ml の場合、ボイラ数 1 台の場合に比べ、2 台の場合の方が、蒸気発生開始時刻は早く、発生時間も長い。また、発生蒸気量もほぼ 2 倍となっていることが確認できる。初期給水量 15 ml の場合についても、5 ml の場合とほぼ同様な結果であった。

図8に、ボイラ内初期給水量 (L) を 10 ml とした場合の、発生蒸気量とボイラ表面温度の経時変化を示す。横軸は加熱開始からの経過時間 (t)、縦軸は蒸気発生量およびボイラ表面温度 ( $T_v$ ) である。蒸気発生は、図7で示したように約120秒から開始し、約360秒後に終了している。一方、ボイラ表面温度も蒸気発生量の場合と類似の変化を示しており、ボイラの表面温度と蒸気発生量には対応関係が存在していることがわかる。

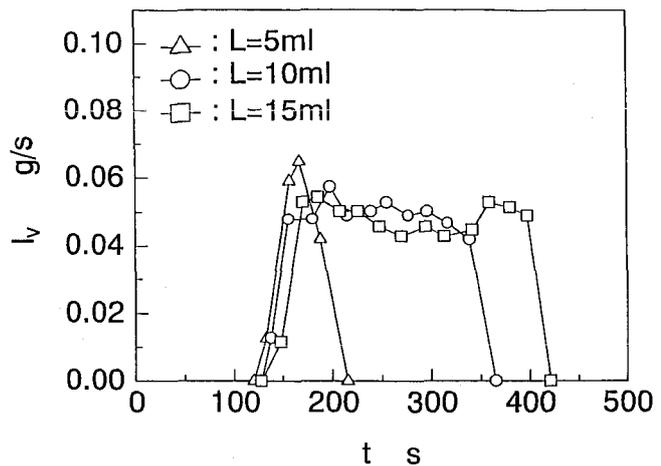


図6 蒸気発生量の経時変化

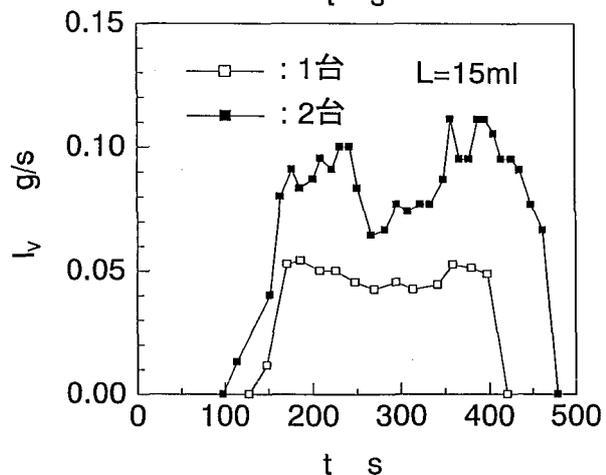
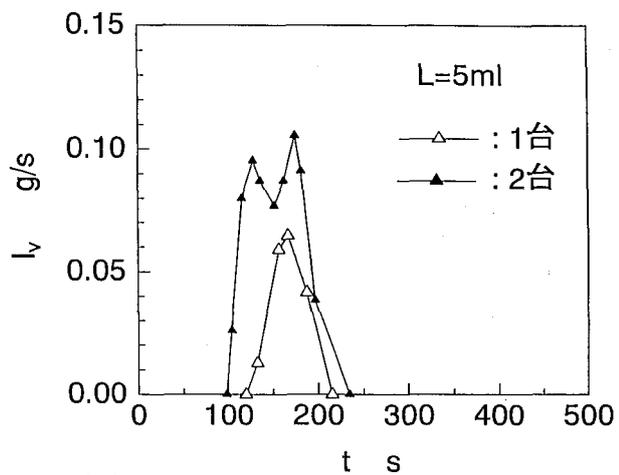


図7 蒸気発生量に対するボイラ数の影響

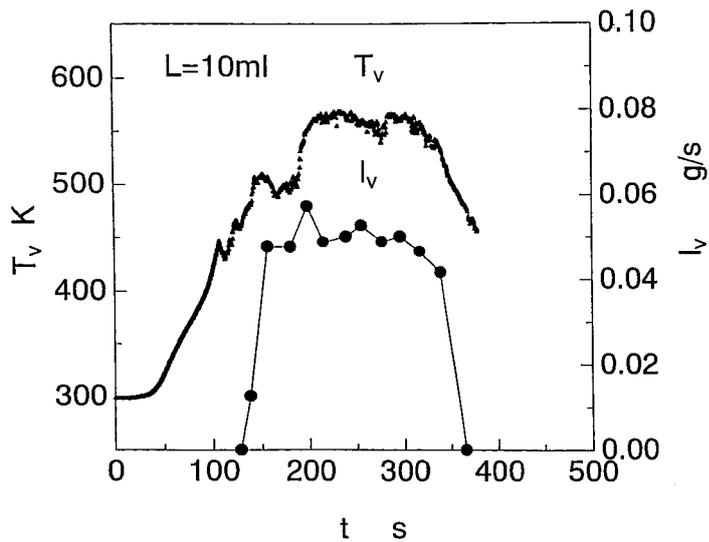


図8 ボイラ表面温度および蒸気発生量の経時変化

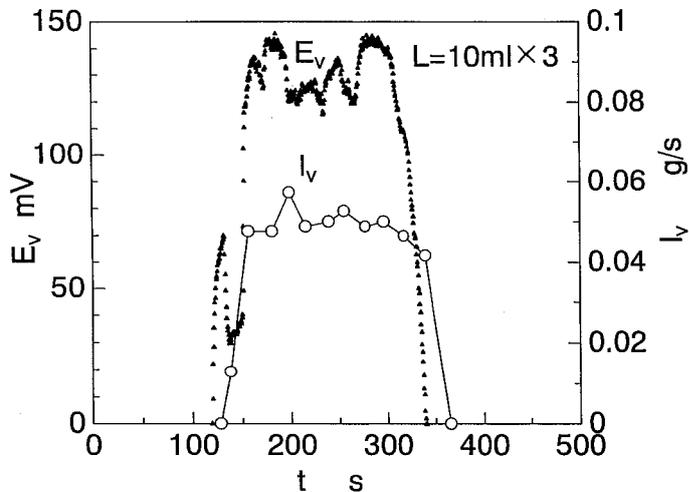


図9 出力電圧と蒸気発生量の経時変化

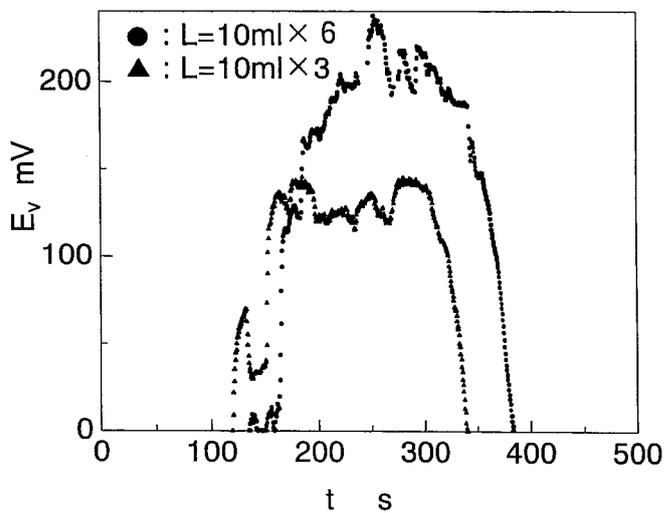


図10 出力電圧に対するボイラ数の影響

図9に、蒸気発生量および本教材の出力電圧の経時変化を示す。横軸は加熱開始後の経過時間(t)、縦軸は発生した蒸気量と出力電圧( $E_v$ )であり、ボイラ内の初期給水量(L)を10 mlとした場合の結果である。図8に示したように、蒸気発生とボイラ表面温度には、対応関係が見られたが、出力電圧の場合も同様であった。約200秒、250秒、300秒前後で蒸気発生量が増加していることに伴い、出力電圧も増加している。出力電圧は定常状態では約120 mVであり、蒸気発生量の減少に伴い、その値は低下している。出力電圧が140秒前後で急激に低下しているのは、加熱開始直後にボイラ内空気が噴出し、その後、蒸気に切り替わることが原因と考えられる。図10は、出力電圧に対するボイラ数の影響を示したものである。横軸は加熱開始からの経過時間(t)、縦軸は出力電圧( $E_v$ )である。ボイラ内の初期給水量(L)は10 mlであり、ボイラ数を3台および6台とした場合の結果が示されている。図9の結果においても観察されたように、初期の電圧発生はボイラ内の空気の膨張に起因したものと考えられる出力電圧の低下が見られる。この現象は、ボイラ台数6台の場合でも150秒付近で確認できる。ボイラ台数6台の場合、蒸気発生量が大きいため、ボイラ台数3台の場合よりも出力電圧が高く、平均で約200 mV程度であり、かつその持続時間も約380秒と長くなる。しかしながら、蒸気が噴出し始め

る時刻は約150秒と立ち上がり時間が長くなる。以上の結果から、本教材では、ボイラ台数を多くすることによって得られる電圧が高くなり、ボイラ台数などの機器構成の変更が出力に反映されることがわかる。すなわちボイラ数などを変化させることによって、広範な実験条件の設定が可能であることが確認できる。

## 6. ま と め

「エネルギー」領域で活用しうるエネルギー変換教材の開発を目的として、指導計画を策定し、教材が具備すべき条件を検討したうえで、火力発電所を模したモデル教材を開発した。本教材の安全性を確認するとともに、開発教材の性能について検討を行い各種運転条件での出力特性を明らかにした。その結果、ボイラの給水量が、所定量以上であれば出力電圧には影響がないこと、ボイラの台数を増加させることによって出力電圧も高くなることなどの知見が得られた。本開発教材は、エネルギー変換教材としての条件を具備したものであるとともに、生徒の体験学習と製作学習を可能とするものである。今後は、教育現場での有効性とその効果をより実践的な立場から検討する必要があると思われる。

## 謝 辞

本研究を遂行するに際し、様々なご助言を賜った本学部 村尾卓爾教授に厚くお礼申し上げます。また、機器の製作、実験に当たっては、当時愛媛大学学生 本田公敏君の協力があったことを記して、謝意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 通商産業省編,「地球時代のエネルギー新潮流(エネルギー'91)」,電力新報社,(1991),pp.164
- (2) 朝井,「技術教育の思想と領域の再編成」,日本産業技術教育学会第33回全国大会講演要旨集,(1990),pp.5
- (3) 藤木,松原,「技術科の領域再編成」,日本産業技術教育学会第33回全国大会講演要旨集,(1990),pp.4
- (4) 小川,松浦,林,「中学校技術・家庭科における技術関連領域の再編成と《エネルギー》領域の創設」,日本産業技術教育学会誌,34巻1号,(1992),pp.55
- (5) 河野,黄,「知的創造社会に向けての技術科教育における機械領域の課題と教材開発」,日本産業技術教育学会機械分科会講演要旨集,(1992),pp.9
- (6) 大倉,須見,上田,「ソーラーエネルギー変換教材のための太陽追従装置の開発とその応用」,日本産業技術教育学会誌,35巻2号,(1993),pp.141
- (7) 大倉,「エネルギー変換教材用ソーラースターリングエンジン・システムの開発」,日本産業技術教育学会誌,37巻4号,(1995),pp.359
- (8) 福島,吉本,塚原,「教材用スターリングカーの製作と性能」,日本産業技術教育学会誌,37巻2号,(1995),pp.105
- (9) 三原,竹之内,松田,「燃焼器を用いたエネルギー変換学習教材の開発」,日本産業技術教育学会第37回全国大会講演要旨集,(1994),p.37
- (10) 坂井,佐分利,阿久津,「内燃機関授業に関連した爆発実験」,日本産業技術教育学会誌,22巻1号,(1980),pp.161
- (11) 佐分利,有川,上里,「内燃機関学習に関する研究—機関内の燃焼を中心として—」,日本産業技術教育学会誌,26巻3号,(1984),pp.99