

# 高等学校工業科教員を対象とした計測・制御技術教育に関する指導能力向上を目指した研修の検討

川田和男・大西義浩<sup>1</sup>・山本 透<sup>2</sup>

(2017年10月4日受理)

Training to Improve Teaching Skill on Measurement and Control Technology Education for Industrial Education Teachers at Technical High Schools

Kazuo Kawada, Yoshihiro Ohnishi<sup>1</sup> and Toru Yamamoto<sup>2</sup>

**Abstract:** Industrial high schools need to incorporate new educational content and methods to respond to changes in industrial structure and progress in science and technology. Because the expertise and skills required in the industry are becoming more sophisticated, it is also necessary to review the training of teachers. Therefore, in this study, we examined training for teachers at technical high schools who were aiming to acquire the basic expertise and skills related to the “measurement and control” used in the industry. In addition, the evaluation was conducted by questionnaire before and after the training. The evaluation showed that teachers were interested in the “measurement and control” technology education provided by this training, and many commented that they wanted to use it in their classes. From these results, the effectiveness of the training content and the teaching materials were confirmed.

**Key words:** Measurement and Control, Industrial Education, Technical High School, Teaching Material

キーワード：計測・制御，工業教育，高等学校工業科，教材

## 1. はじめに

高等学校工業科は、地域における産業を支える人材育成を主目的とし、設置されている。生徒数は昭和40年度には約62万人であったが、以降、年を追うごとに生徒数は減少し、平成28年度では約25万人となっている<sup>[1]</sup>。設立当初は、「機械科」、「電気科」、「土木科」、「工業化学科」等が主流であったが、情報社会の進展により、昭和45年頃には「情報技術科」が誕生した。さらに、昭和60年以降には「機械科」が「電気機械科」等に改組された。これは、「コンピュータ」の導入により、「重厚長大」から「軽薄短小」へ、また「少品種大量生産」から「多品種少量生産」へと「ものづくり」の形態が

大きく変容していることに裏付けされている。そして、「ものづくり」の中で、コンピュータ制御は、ものづくりの多様化、付加価値創出に大きな役割を果たしている。

一方、日常生活で私たちが使用している自動車や家電機器の多くには、計測・制御システムが用いられている<sup>[2][3][4]</sup>。製品例として、自動車の運転支援システムが挙げられる。この計測・制御システムは、前方にある障害物、自動車や人、車線を示すライン等をセンサとなるカメラで感知し、ブレーキにより衝突を防いだり、ステアリングにより車線をはみ出さないようにしたり、アクセルとブレーキにより前の自動車の間隔を一定に保ったりする機能を持っている。このように従来あった自動車や家電製品に対して高機能化や高付加価値化が進むことで、製品の操作が自動化され、利用者が容易に製品を扱うことが可能となっている。そ

<sup>1</sup>愛媛大学教育学部

<sup>2</sup>広島大学大学院工学研究科

の反面、計測・制御システムのためのソフトウェアが大規模・複雑化している。それゆえ、エンジニアが計測・制御システムの全体を把握しながら開発することは、多くの時間と人員が必要になる等の問題となっている。このような問題を解決する為の手段として、近年では、モデルベース開発<sup>[5]</sup>が取り入れられている。

ところで、平成20年に告示された中学校技術・家庭科（技術分野）の学習指導要領<sup>[7]</sup>では、「プログラムによる計測・制御」に関する学習内容が必修化されている。具体的な学習内容には、①コンピュータを利用した計測・制御の仕組み、②情報処理の手順と簡単なプログラミングがある。このように、中学校段階からコンピュータと関連付けられながら、計測・制御に関わる内容が取り扱われている。取り分け、順次・分岐・反復によるプログラミング学習が主体であるため、制御といっても条件（あるいは計測した入力情報）によって、処理（制御動作）が変わるいわゆるシーケンス制御に関する学習が取り上げられている。高等学校工業科には、これらの知識を持った生徒が入学してくる。

これらのことからわかるように、高等学校工業科は産業構造の変化、科学技術の進歩等の情勢の変化に対応し、それぞれの専門分野で必要とされる教育内容に精選し、新たに求められる教育内容・方法を取り入れる必要がある。また、産業界で必要とされる専門知識や技術・技能が高度化するのに合わせて、教員の研修も見直す必要がある。

そこで、本研究では近年の産業界で行われている計測・制御に関する基礎的な専門知識や技術・技能の習得を目指した工業科の教員を対象とした研修の検討を行った。

## 2. 「計測・制御」関連科目とその内容

高等学校工業科の学習指導要領解説<sup>[8]</sup>における「計測・制御」に関わる科目とその内容を以下にまとめる。

### ○情報技術基礎 「コンピュータ制御の基礎」

身近な事例を通してコンピュータ制御と組み込み技術の概要を扱う。具体的にはマイクロコンピュータとインタフェースにより制御機器（LEDやモータ等）の基本的制御技術を学び、マイクロコンピュータを組み込んだ身近な工業製品（自動車等）を取り上げる。

### ○生産システム技術 「計測・制御」

シーケンス制御とフィードバック制御の原理と構成を取り上げ、制御について理解させ、実際に制御できるようにする。フィードバック制御では、温度管理等の具体的な事例を取り上げて体験的に理解させる。コンピュータ制御により、コンピュータ制御技術やイン

タフェース技術について理解させる。

### ○電子機械 「コンピュータ制御の基礎」

インタフェース回路の原理と方法、および制御プログラムを扱う。また、外部機器からフィードバック信号を利用した制御の原理と方法、および外部機器の基本的な制御技術を扱い、実際に制御できるようにする。

### ○電力技術 「自動制御」

シーケンス制御、フィードバック制御、およびコンピュータ制御について扱う。シーケンス制御では、電気洗濯機、交通信号機等を、フィードバック制御では、冷蔵庫、低電圧電源等を、さらには、コンピュータ制御ではコンピュータによる制御の基本原理等を取り上げて、制御系の構成および動作を理解させ、実際に制御できるようにする。

### ○電子計測制御 「電子計測制御の概要」

電気計測制御の基礎、計測制御機器、およびデータ処理について扱う。特に、産業用ロボットや身近な家電機器を取り上げ、電気計測制御の基本的な仕組みについて理解させ、活用できるようにする。

### ○電子計測制御 「シーケンス制御」

シーケンス制御の基本的な原理と特徴、および使用される電子機器（スイッチ、リレー、タイマ等）の構成と取り扱い方法を扱う。また、シーケンス制御の基本的な回路を取り上げ、その機能、動作等を理解させ、タイムチャートやフローチャート等を利用した簡単な回路設計ができるようにする。

### ○電子計測制御 「フィードバック制御」

フィードバック制御の基本的な原理、特性、利用例等を取り上げ、フィードバック制御の基本的な考え方、シーケンス制御と対比したフィードバック制御の特徴について理解させる。制御系の伝達関数、ブロック線図、信号の応答、ボード線図、ナイキスト線図、および安定判別等を取り上げ、フィードバック制御系および各種要素の応答特性について理解させ、論理的に解析・評価できるようにする。また、プロセス制御、サーボ制御等の代表的なフィードバック制御を取り上げ、その概要を理解させ、実際に活用できるようにする。

### ○電子計測制御 「コンピュータによる制御の基礎」

コンピュータと外部機器との基本的な接続方法を扱う。また、外部機器を制御する基本的なプログラミングの方法を扱う。さらに、コンピュータによる計測・制御システムの概要を扱う。

### ○電子計測制御 「コンピュータ制御」

機械語およびアセンブリ言語の特徴と用途を扱う。コンピュータ制御に用いられるセンサの原理、構造および特性を扱う。インタフェース回路における増幅、直流電圧・交流電圧への変換、A/D、D/A変換回路

についても触れる。簡単な制御プログラムが作成できるようにする。

### 3. 計測・制御技術教育の研修について

#### 3.1 研修内容

本研究で行う研修の流れを表1に示す。研修期間は2日間(10時間)であり、計測・制御システムの開発に必要な知識、技術及び技能が習得できるように配慮した。また、研修内容は計測・制御に用いるソフトウェアの解説を行い、教材である水位制御システムのシステム同定から制御系設計を行い、教材を用いた制御検証まで行う一連の流れを体験できるようにした。これにより、最初から実機に直接コントローラを搭載し、試行錯誤的な実験を通して設計や改善を行うのではなく、ソフトウェアの活用によって、簡単、安全かつ短時間で計測・制御システムの開発を行うことができる。

本研修で扱ったコントローラは、産業界で最も利用されている以下のPIDコントローラ<sup>[9][10]</sup>である

$$u(t) = K_p \left\{ e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{de(t)}{dt} \right\} \quad (1)$$

を用いた。ここで、 $u(t)$ : 制御量、 $e(t)$ : 偏差(目標値-出力値)、 $K_p$ : 比例ゲイン、 $T_I$ : 積分時間および $T_D$ : 微分時間を示す。ステップ応答を利用し求められる特定数 $T$ 、システムゲイン $K$ およびむだ時間 $L$ の3つのパラメータにより、容易に $K_p$ 、 $T_I$ および $T_D$ の設定を行うことができる。

表1 研修の流れ

	研修内容	時間
1日目	計測・制御技術の概要	1
	Scilab/Xcos の使用法	1
	水位実験装置のキャリブレーション	1
	ステップ応答実験	2
2日目	シミュレーションモデルの作成	2
	コントローラの設計および検証	1
	実機を用いた実験	2

#### 3.2 研修で用いる教材

本研修で使用する教材は、「制御結果が短時間で確認可能」、「身の回りの製品との関連付け」、「変化が目で見えて確認可能」の3点をコンセプトとして開発した。また、比較的安価に製作できるように配慮した。開発した水位制御教材を図1に示す。本教材は下タンクにあらかじめ溜めて水をポンプで吸い上げて上タンクに注水する構造になっている。また、上タンクの底には穴が開いており、注水された水の一部が下タンクへ放水されるようになっている。

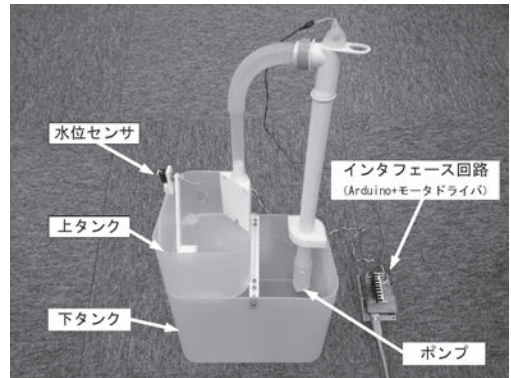


図1 開発した教材

本教材のシステム構成は、ポテンショメータによる水位センサを用いて、上タンク内の水位を計測する。計測結果に応じてインタフェースとして用いているArduinoからモータドライバに信号を入力し、PWM信号によってポンプに加わる電圧を調整する。これによってポンプで吸い上げる流量を操作することで上タンクの水位を制御することができる。つまり、本教材の制御目的は、上タンクの水位を計測し、目標とする水位になるようポンプの流量を制御することである。

#### 3.3 研修で使用するソフトウェア

本研修で使用する計測・制御技術教育の環境として、INRIA(フランスコンピュータ科学・制御研究所)とENPCで開発された数値計算フリーソフトウェアScilab<sup>[11][12]</sup>を用いている。本教材では、このソフトウェアの機能の1つであるXcosを使用する。Xcosは、図2に示すようなパレットブラウザから必要なブロックを使用してブロック線図として制御系を作成することができる。そのため、ソースコードを書くことなく制御対象のモデルを図3のようにブロック線図として表現できる。そのため、ソースコードのデバッグをする時間を削減でき、制御対象のシミュレーションにより、モデル作成時間や制御系設計の時間が短縮可能で



図2 パレットブラウザ

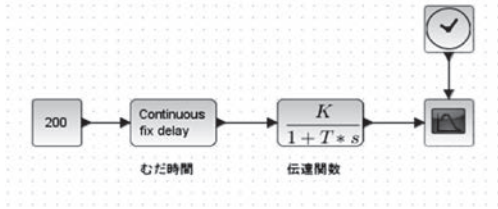


図3 ブロック線図

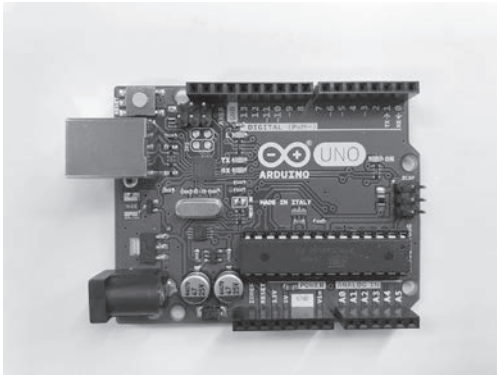


図4 Arduino 本体

ある。また、Xcosで設計した制御器を制御対象に組み込むことができる。本教材のインタフェースは、図4に示すAVRマイコンおよび入出力ポートを備えたArduino<sup>[13][14]</sup>を使用する。Arduinoは統合開発環境(IDE)を用いてプログラムを作成することができる。ScilabのXcosの設定により、Xcosから水位実験教材を用いた実験を行うことできる。さらに、制御結果を示す操作量と制御量をグラフとして容易に表示可能である。

## 4. 研修の評価

### 4.1 アンケート

本教材の評価をするために、2015年度のA県の研修センターにおける高等学校工業科および中学校技術・家庭科技術分野の教員を対象とした研修において、計測・制御技術教育に関する研修を行い、研修前と研修後での理解度をアンケートにより調査した。研修に参加した教員は9人(工業科5名、技術・家庭科技術分野4名)であり、勤務年数は3～31年である。

アンケートは自己評価により各質問に対して「はい」、「どちらともいえない」、「いいえ」の3段階で回答するようにした。

本研修前のアンケートの質問項目は以下の通りである。

- (1) 「計測・制御」の概要を簡単に説明できますか？
- (2) CAEを知っていますか？

- (2) (2)ではいと答えられた先生に質問します。CAEソフトをご使用であれば、以下にそのソフト名の記述をお願いいたします。
- (3) Scilab/Xcosを知っていますか？
- (4) Arduinoを知っていますか？
- (5) 授業において計測・制御を扱っていますか？
- (5) (5)ではいと答えられた先生に質問します。どのような内容を扱い、どのくらいの時間を使っていますか？以下に記述をお願いいたします。
- (6) 制御系設計のおおまかな流れを知っていますか？
- (7) モデリングの概要を知っていますか？
- (8) システム同定の概要を知っていますか？
- (9) ステップ応答法の概要を知っていますか？
- (10) PID制御の概要を知っていますか？
- (11) 自分で制御系設計はできますか？
- (12) 「計測・制御」から連想されることを、以下に記述をお願いいたします。

また、本研修後のアンケートの質問項目は以下の通りである。

- (1) モデルベース開発の概要を簡単に説明できますか？
- (2) CAEを知っていますか？
- (3) Scilab/Xcosを知っていますか？
- (4) Arduinoを知っていますか？
- (5) 制御系設計のおおまかな流れを知っていますか？
- (6) モデリングの概要を知っていますか？
- (7) システム同定の概要を知っていますか？
- (8) ステップ応答法の概要を知っていますか？
- (9) PID制御の概要を知っていますか？
- (10) 自分で制御系設計はできますか？
- (11) 学校で今回の研修は活かそうですか？
- (11) (11)ではいと答えた先生に質問します。どのようなところを活かせそうですか？以下に記述をお願いいたします。
- (12) 今回の研修で難しいと感じたところはどこですか？以下に記述をお願いいたします。
- (13) このような研修内容に興味がありますか？
- (13) (13)ではい以外に答えた先生に質問します。その理由を以下に記述をお願いいたします。
- (14) 「計測・制御」から連想されることを、以下に記述をお願いいたします。

### 4.2 アンケート結果と考察

アンケートの調査結果の内、選択で答える質問についてまとめたグラフを図5から図14に示す。これらの図から知識的な項目や実技的な項目では、研修前は「どちらでもない」か「いいえ」という回答が多かったが、

研修後では「はい」と回答した人がほぼすべての質問で過半数を超えていることがわかる。しかしながら、システム同定という言葉から研修でどのような実験を行ったのが繋がっていないことや自分で制御系設計をすることに関しては自信がないことがわかった。これらのことから、理解を深めるような支援方法が必要であることがわかった。

また、図15に「学校で今回の研修は活かそうですか？」の回答を示す。この図より、本研修の内容が授業で活用できることを示している。

次に、記述の回答についてまとめる。

#### ○研修前のアンケート項目(2)の記述

この記述に関しては、(2)をはいと答えた教員はいなかったため、省略する。

#### ○研修前のアンケート項目(5)の記述

- ・家庭や社会で使われている信号や自動ドアがどのように動作するのか、からコンピュータを使った計測（センサ）制御（モータ）などを動作させる。動作をさせるためには、以前学習したコンピュータのソフトウェアを使ったプログラムを使う（フローチャートを使った大まかな動きの流れを作った後のプログラムを作るなど）を扱う。5～6時間を使って授業を行う。

- ・現在校（4年目）では、ヤマザキ教育システムのブロックNEOを使用して、各種センサを利用したプログラム作成に取り組みしています。（12時間程度）プログラム作成含む

- ・ロボティクス（8h）

#### ○研修前のアンケート項目(12)の記述

- ・ものの状態を知り、任意の状態へコントロールする
- ・A-D、D-A変換を通し、情報の収集
- ・人間の生活においては、情報社会の現在ではなくてはならないもの。社会・環境・生活において必要なもの。

- ・エアコン等の温度を制御する電気製品、マイコンによるモータ制御

- ・様々なセンサーからの情報をもとに、機器等を目的に応じた状態に保つ

- ・デジタル・アナログ変換、フィードバック制御

- ・シーケンス制御、マイコン制御

#### ○研修後のアンケート項目(11)の記述

- ・実際に現物（モデル）で実演させることはまだできませんが、エアコンや自動車の安全装置などを例にその仕組みについて説明する際に今日の研修内容を生かしたいと思います

- ・情報系のプログラミングの実習にて、モデル化や制御シミュレーションを行える様に教材を作りたいと

思います

- ・実習の内容

- ・制御の具体例として、中身が見えやすいので、例示したり、手動との比較を行うなど制御って何？を解決する教材として、使えると思いました。

- ・設計に関係する授業で活用したい

- ・いくつかのシミュレーションの例示

- ・日頃の実習の中でモニタリングがまず利用できると思う

- ・やはり、具体物を利用したものは有効な手段だと実感しました。

#### ○研修後のアンケート項目(12)の記述

- ・予算のこともあり難しいと思いますが、実費でも良いので使用あるいは製作した教具を持ち帰って再現ができることさらに普及していくと思います。

- ・「どのブロック図を用いたら、どーなるのか」がもやもや

- ・機械（モデム）を持っていない

- ・Xcosの各ブロックの使い方が分かりにくかったです

- ・Xcosです

- ・今回学んだことをどう授業で活用するのか、教材として活用できるか、難しい部分がある

- ・ソフトの扱いに慣れが必要

- ・個々のブロックの意味がよく理解できないまま、設定のみで終わってしまった。システムの立ち上げを繰り返し返せば、利用の初級程度は確実に身に付くと思う

- ・ソフトのダウンロード

#### ○研修後のアンケート項目(13)の記述

- ・研究がしたい。授業するよりもわりと。

- ・実際に自分でものを動かし、学ぶことができるからです

- ・自ら学ばないといけない内容に関してこういう講座が分かりやすく、身につく

- ・授業で大変有効に使えると感じている。実際の利用では、トラブルに対応できる必要があるのでそれができるために多くの失敗が必要である。

- ・高校との連携の場として有効なものだと思います。

#### ○研修後のアンケート項目(14)の記述

- ・フィードバック制御、プログラミング、アルゴリズム等々

- ・ダム。空調

- ・目的となる動作を明確にし、その手順を伝え、ものを動かす

- ・センサー等から得た情報をもとに、モータ等を動かすこと

- ・「計測・制御」する上で、プログラミングが大切ではなく、問題を解決する為の手法を考えるアルゴリ

ズムが大切である

- ・調光、自動車の衝突防止など（AIのもの）、最新機能の電化製品
- ・モデリングが大変重要であるということ
- ・生活や生産などの場において必要なものだと思います。

以上の各アンケート項目の記述から次のことがわかった。

研修前のアンケートより

- 研修に参加した工業科の教員は、計測・制御技術教育の教材を扱っていない
- 研修前の「計測・制御」から連想されるものに抽象的なキーワードが多く、具体物を例に挙げ、何を計測し何を制御しているのか説明があまりできていなかったが、研修後は具体物を例に挙げ、計測・制御システムを設計するのに必要なモデリングやアルゴリズム（プログラム）を説明できるようになった

研修後のアンケートより

- 計測・制御システムの具体例（水位制御教材）により、授業での活用を前向きに考えるようになった
- 研修で難しいところで一番多いのは、ソフトウェアの使い方不安を感じていることがわかった
- 研修内容に関しては、新しい内容の研修を受けたいという前向きな意見が多いことがわかった

アンケート結果より、受講した教員は研修で扱った計測・制御技術教育に興味を持ち、授業で活用しようとする前向きな意見が多くなったこと、また、図15に示す「学校で今回の研修は活かそうですか？」の回答に約9割の教員が「はい」と回答していることから本研修内容の有効性が示された。

しかしながら、教員はソフトウェアの使用方法に関する不安を感じているため、もう少しこの部分の説明の時間を多くとったり、演習課題を多くしたりする必要があることがわかった。また、今回研修で使用したタブレットPCの画面が10.6インチであったため、表示される文字が小さかったことも影響したと考えられる。

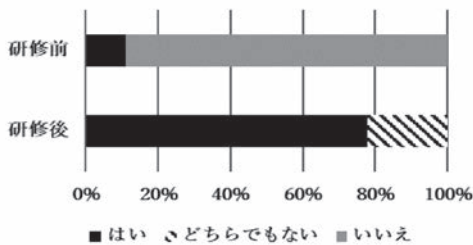


図5 「計測・制御の概要を簡単に説明できますか？」の回答

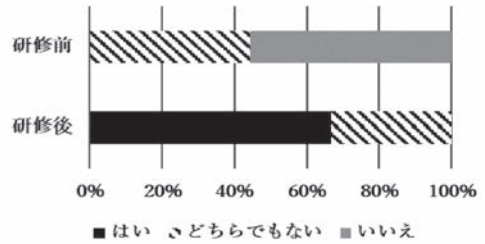


図6 「CAEを知っていますか？」の回答

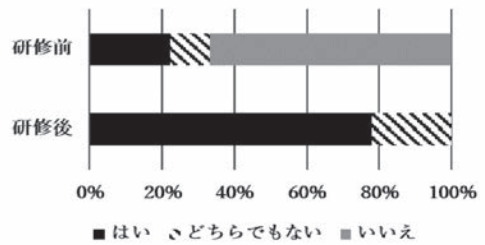


図7 「Scilab/Xcosを知っていますか？」の回答

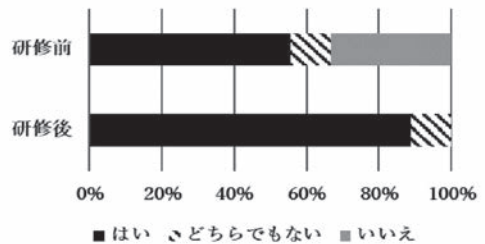


図8 「Arduinoを知っていますか？」の回答

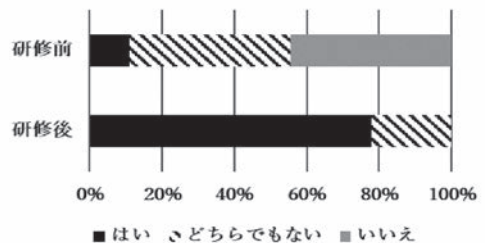


図9 「制御系設計のおおまかな流れを知っていますか？」の回答

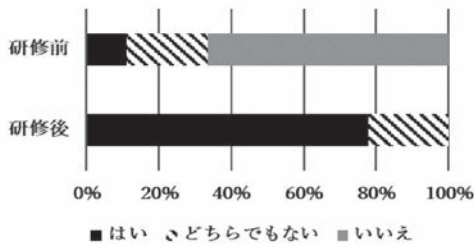


図10 「モデリングの概要を知っていますか？」の回答

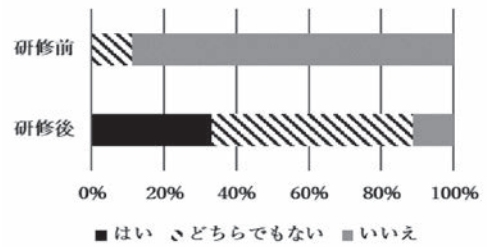


図14 「自分で制御系設計はできますか？」の回答

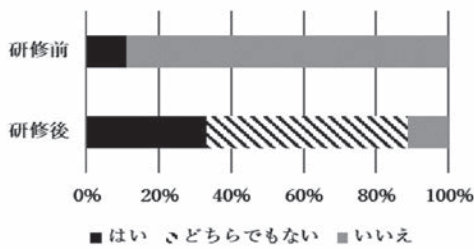


図11 「システム同定の概要を知っていますか？」の回答

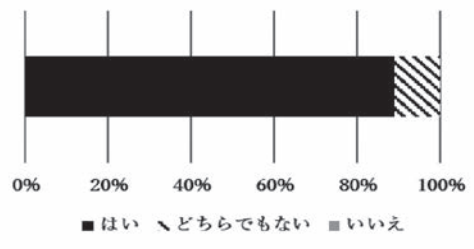


図15 「学校で今回の研修を活かせそうですか？」の回答

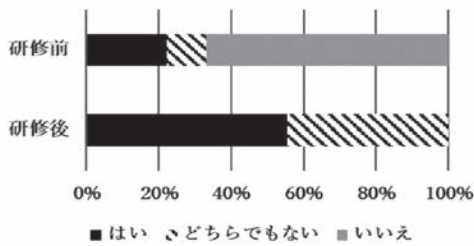


図12 「ステップ応答法の概要を知っていますか？」の回答

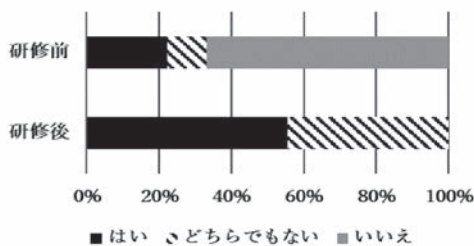


図13 「PID制御の概要を知っていますか？」の回答

## 5. おわりに

時代とともに、高等学校工業科は産業構造の変化、科学技術の進歩等の情勢の変化に対応し、新たに求められる教育内容・方法を取り入れる必要がある。そして、産業界で必要とされる専門知識や技術・技能が高度化するのに合わせて、教員の研修も見直す必要がある。

そこで、本研究では近年の産業界で行われている計測・制御に関する基礎的な専門知識や技術・技能の習得を目指した工業科の教員を対象とした研修を検討し、研修前後のアンケートにより評価を行った。その結果、受講した教員は研修で扱った計測・制御技術教育に興味を持ち、授業で活用しようとする前向きな意見が多くなった。また、「学校で今回の研修を活かせそうですか？」の回答に約9割の教員が「はい」と回答していた。これらのことから、本研修内容および教材の有効性が示された。しかし、ソフトウェアの使用方法に関する不安を持つ教員がいることから、研修の時間配分を検討する必要があることがわかった。

今後、今回のアンケート結果により、高等学校工業科の教員が計測・制御技術教育のさらなる指導能力向上が図られる研修内容および教材の開発を進める予定である。さらには、中学校技術・家庭科技術分野の教

員の計測・制御に関する指導能力向上の研修内容および教材も開発する予定である。

## 【参考文献】

- [1] 文部科学省: 文部科学統計要覧(平成29年版) (2017)
- [2] 加藤幸一 他60名: 新しい技術・家庭技術分野, 東京書籍 (2012)
- [3] 佐竹隆顕 他9名: 技術・家庭技術分野, 教育図書 (2013)
- [4] 間田泰弘 他59名: 技術・家庭技術分野, 開隆堂 (2011)
- [5] 下浦美那, 辻本圭史, 森田康志, 大依仁: ロケット電子制御システムへのモデルベース開発手法の適用, IHI 技報, Vol.54, No.1, pp.34-40 (2014)
- [6] dSPACE Japan: モデルベース開発—モデリング, プラント・モデル, コントロール・モデル—, 日経BP社 (2013)
- [7] 文部科学省: 中学校学習指導要領解説(平成20年9月) 技術・家庭編, 開隆堂 (2008)
- [8] 文部科学省: 高等学校学習指導要領解説(平成22年5月) 工業編, 実教出版 (2010)
- [9] J. G. Ziegler and N. B. Nichols: “Optimum Settings for Automatic Controllers”, Transaction of the American Society of Mechanical Engineers, Vol.64, No.8, pp.759-768 (1942)
- [10] K. L. Chien, J. A. Hrones and J. B. Reswick: “On the Automatic Control of Generalized Passive Systems”, Transaction of the American Society of Mechanical Engineers, Vol.74, pp.175-185 (1952)
- [11] M. Banz: Getting Started With Arduino, O'REILLY (2008)
- [12] M. Margolis: Arduino Cookbook, O'REILLY (2012)
- [13] 川谷亮治: 「Maxima」と「Scilab」で学ぶ古典制御, 工学社 (2014)
- [14] 多田和也: 「Scilab」& 「Xcos」で学ぶ現代制御, 工学社 (2016)