

# Arduino を用いたシーケンス制御学習用ソフトウェアの開発

## Development of Ladder Diagram Software for Learning Programmable Logic Controllers with Arduino

平田 拓也, 日高 義浩

Takuya Hirata and Yoshihiro Hidaka

Most technical high schools do not have sufficient number of Programmable Logic Controllers (PLC) as teaching materials because of their high prices. In this paper, software to utilize an Arduino as PLC by ladder diagrams is developed. The software can support the students to obtain a qualification called the Electric Equipment Assembling (Sequence-Control) 3rd grade Technical-Skill-Test.

Keyword: Teaching Material, Technical-Skill-Test, Technical High School, Arduino

### 1. はじめに

これまで、工業高校生を対象とした資格取得に関する調査研究から、資格取得が生徒の進路選択に関わること<sup>[1]</sup>、実践的な技能を必要とする資格の習得に対応した教材の開発が必要であること<sup>[2]</sup>を追究してきた。例えば、実践的な技能を必要とする国家技能検定試験の1つである「電気機器組立てシーケンス制御作業」(以下、シーケンス制御作業試験 とする)は、受験の際に、プログラマブル・ロジック・コントローラ (以下、PLC とする) とそれを動作させるためのソフトウェアなどの機材を受験者が持参しなければならないが、工業高校では、これらの機材は、比較的高価であることと、教科「工業」(以下、工業科とする)の科目「実習」の実施の特性上<sup>[3]</sup>、10台前後しか導入されていない<sup>[註1]</sup>。そのため、受験を希望する生徒数に対して、学校にある機材数を超えた場合には、新たにその機材を調達することは難しく、結果として、受験させられない状況に陥るため、この試験に対応する教材開発が求められていた。

これに対処するために、シーケンス制御を題材として教材 (以下、簡易 PLC とする) 開発を行い<sup>[4]</sup>、この教材に関する実践研究を報告した<sup>[5]</sup>。結果として、簡易 PLC を用いることでシーケンス制御作業試験の実技指導に学習成果が認められること、シーケンス制御作業試験の受験者数に増加がみられたことを明確にした。一方で、簡易 PLC を使用するためには、本来のシーケンス制御の学習とは関係のない、煩雑な作業が必要となる課題も明らかになった。

そこで、本稿では、この課題を解決するために、簡易 PLC の構成を新たにし、また、その構成に対応するため

に、ソフトウェアを開発した(以下、ELFI とする)。簡易 PLC は、使用者からの操作を受け付けて、操作に応じた出力を提供するインターフェースボードと、その操作に応じた出力を返すマイコンで構成されるが、そのマイコン部分に、マイコン制御の入門用として工業高校ならびに工業高等専門学校などにて広く使用されている Arduino を用いた<sup>[6]</sup>。これにより、文献[4]で開発した簡易 PLC の煩雑な作業への対処と、一台あたりの価格において占める割合が比較的大きい、マイコンへのプログラムの書き込み器(プログラマ)の価格が押さえられたため、さらに安価になった。

しかし、本稿の簡易 PLC を用いて、ラダー図を使用したシーケンス制御の学習を行う際、ラダー図からマイコン部分のプログラム作成する必要が生じ、シーケンス制御の学習の妨げとなる。文献[4]の簡易 PLC でも同様な課題が存在したが、フリーソフトウェア<sup>[7]</sup>を使用することで解決した。しかし、そのソフトウェア<sup>[7]</sup>は、対象となるマイコンが異なるため、新たにラダー図からプログラムを生成し書き込むまでのソフトウェア ELFI を開発することとした。

本稿では、開発した ELFI について工業科に従事している教員および工業高校生に使用してもらい、その後の聞き取りによる評価結果から ELFI の課題を追究することならびに ELFI が工業高校での授業などで使用可能かを明確にすることを目的としている。

### 2. 本稿と関連する研究について

シーケンス制御学習に関する先行研究には、山田らに

よるシーケンス制御の実習に関し必要な能力とその評価に関する研究<sup>[8]</sup>、長谷川は工業科の科目「実習」のテーマおよびその内容における分析に関する研究<sup>[9]</sup>がある。それらの先行研究ならびに本稿は、制御対象物やシーケンス制御装置で使用できるハードウェアに焦点を当てた開発とその実践を扱うが、本稿はシーケンス制御の学習に使用するソフトウェアに重点をおき、これを使用して授業などが実践できるかどうかに着眼している。

### 3. 工業高校における技能検定シーケンス制御作業に関する実態調査

#### 3.1. シーケンス制御に関する実態調査

工業科において、実際に PLC を用いながら学習する科目は「工業技術基礎」、「実習」、「課題研究」などを挙げることができる<sup>[10]</sup>。また、工業高校においてシーケンス制御について学習する小学科は、「機械系」、「電気系」、「情報系」学科で取り組まれることが多い<sup>[8]</sup>。そこで、M 県立の工業高校ならびに工業系学科を設置している高校 7 校の 18 学科を対象として、前述の小学科における PLC の導入台数調査を行った。その結果を表 1 に示す。表 1 において、数値は PLC の導入台数を、かっこ内は、その学科の 1 クラスの定員数を、斜線はその学科が設置されていないことを示している。表 1 より、機械系学科では全ての学校で導入されていること、20 台以上 PLC が導入されている学科は 2 学科のみで (D 校「機械系」学科、F 校「情報系」学科) あること、がいえる。

表 1 M 県の工業高校における PLC の設置状況

学校名	機械系	電気系	情報系
A 校	12(40)	11(40)	15(40)
B 校	11(40)	11(40)	斜線
C 校	12(40)	11(40)	11(40)
D 校	21(80)	14(40)	0(40)
E 校	14(40)	0(40)	斜線
F 校	12(40)	11(40)	21(40)
G 校	12(40)	0(40)	斜線

#### 3.2. 技能検定受験の実態調査

M 県の工業高校生が受験する技能検定の 1 つであるシーケンス制御作業試験の受験状況について調査した。受験には、原則職種についての実務経験が必要となるため、専門高校に在籍する生徒は 3 級からの受験となる<sup>[11]</sup>。技能検定は、全国工業高等学校長協会が実施している「ジュニアマイスター制度」<sup>[12]</sup>において B ランクのため、比較的難易度の高い資格といえる<sup>[13]</sup>。

調査した M 県の工業高校では、生徒に希望を募り技能検定を受験させている。試験は学科試験と実技試験があり、工業高校での教育課程外の学習内容が両試験内容に含まれているため、課外にて対応している。平成 28 年度のシーケンス技能検定 3 級は、M 県内において 100 人弱の受験であったことが報告されている<sup>[13]</sup>。

M 県の工業高校生の受験状況を表 2 に示す。表 2 において、D 校「情報系」学科については、PLC が設置されていないのに受験者がいることから、どのように指導しているのかを担当者に調査した。その結果、機材を学外施設より借用し、指導しているとのことであった。さらに D 校「機械系」学科、F 校「情報系」学科では PLC の設置が 21 台であるが、両校とも 1 クラス 40 名(定員)であるため、どのように指導しているのかを担当者に調査を行った。その結果、受験者を 2 グループに分け、課外を 2 回実施しているとの回答を得た。これらのことから、PLC の台数が不足していることを明確にした。このような不足を補うために、簡易 PLC と ELFI を開発した。

表 2 シーケンス制御作業試験の受験状況

学校名	機械系	電気系	情報系
A 校	×	×	○
B 校	×	×	斜線
C 校	○	×	×
D 校	○	×	○
E 校	×	×	斜線
F 校	○	×	○
G 校	×	×	斜線

### 4. 簡易 PLC の概要と ELFI の開発

#### 4.1. 簡易 PLC について

簡易 PLC はインターフェースボードとマイコンで構成される。インターフェースボードは、スイッチをはじめとする入力、ランプなどの出力が並び、操作を受け付ける。受け付けた操作によって、出力の振る舞いを要求どおりに設計することがシーケンス制御であり、その設計の際の一つの方法としてラダー図が用いられる。

実装としては、受け付けた操作をマイコンが読み取り、ラダー図と等価なプログラムに従って判断し、出力の振る舞いを決定する。今回は、このマイコンの部分に Arduino UNO R3 を用いた。本稿の簡易 PLC の全体像を図 1 に示す。

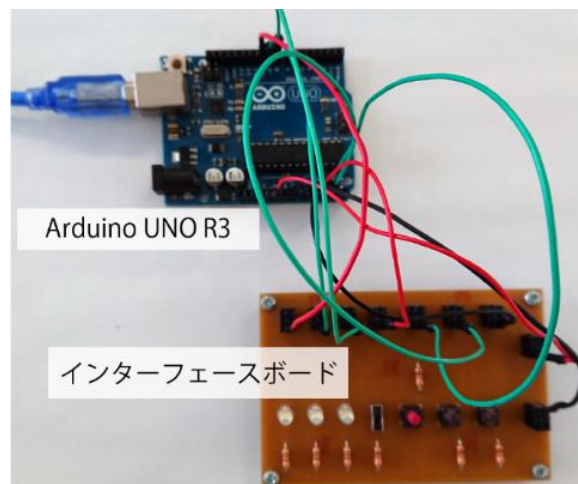


図 1 本稿の簡易 PLC の構成

#### 4.2. 簡易 PLC の価格

本稿では、インターフェースボードとして、シーケンス制御作業試験で用いられる技能検定盤を基に、タクトスイッチを a 接点として 2 個、b 接点として 1 個、スライドスイッチを 1 個、LED を 3 個、取り付けたものを使用した。そのほか、マイコンとの接続のために、ピンソケットと抵抗および、これらの部品の固定と配線を行うために、基板が必要となる。実際に製作したボードを図 2 に示す。このボードは生徒が製作したものであり、製作費は、合計で 382 円となり、その内訳を表 3 に示す。

文献[4]で開発した簡易 PLC のマイコン部には、PIC16F84A を使用した。PIC16F84A へのプログラムを書き込むための AKI-PIC プログラマおよび電源・USB ケーブルと、プログラムを書き込む際に、PIC16F84A を取り外す必要があるため、ゼロプレッシャー IC ソケットが必要になる。また、インターフェースボードとの接続のためのピンソケット、PIC16F84A への給電のための USB ケーブル、および、基板で構成される。これを製作するには、合計で 7825 円かかり、その内訳を表 4 に示す。

一方、本稿では、マイコン部に Arduino UNO R3 を使用したため、必要となるのは、USB ケーブルのみである。費用は、合計で 3370 円であり、その内訳を表 5 に示す。

インターフェースボードは、文献[4]と本稿の簡易 PLC の両方において使用可能である。したがって、簡易 PLC の一台あたりの製作費用は、それぞれ、文献[4]で 8207 円、本稿で 3752 円となる。すなわち、文献[4]の簡易 PLC に比べて、本稿の簡易 PLC は、4455 円安く製作できる。本稿の簡易 PLC で使用した、Arduino UNO R3 は互換性のある製品がいくつか販売され、500 円程度から入手でき、さらに安く構成できる。

なお、上記にあげた部品の価格は、秋月電子通商、SWITCH SCIENCE, Amazon.co.jp で調べたものであり、2018 年 3 月現在での価格となる。



図 2 インターフェースボード

表 3 インターフェースボードの製作費用内訳

部品名	単価 (円)	数量	小計 (円)
LED	20	1	20
タクトスイッチ	10	1	10
スライドスイッチ	20	1	20
抵抗	1	7	7
ピンソケット	25	9	225
基板	100	1	100

表 4 文献[4]の簡易 PLC マイコン部の製作費用内訳

部品名	単価 (円)	数量	小計 (円)
PIC16F84A	300	1	300
AKI-PIC プログラマ	5200	1	5200
AKI-PIC プログラマ用 電源と USB ケーブル	1700	1	1
ピンソケット	25	9	225
ゼロプレッシャー IC ソケット	1	200	200
USB ケーブル	100	1	130
基板	100	1	100

表 5 本稿の簡易 PLC マイコン部の費用内訳

部品名	単価 (円)	数量	小計 (円)
Arduino UNO R3	3240	1	3240
USB ケーブル	130	1	130

#### 4.3. ELFI に求められる要件

Arduino UNO R3(以下、Arduino とする)をプログラムする際には、Arduino IDE と呼ばれるソフトウェアを用いて、コードを記述してコンパイルし、出来上がったプログラムを Arduino へ転送する。したがって、Arduino で構成される本稿の簡易 PLC を動作させるには、ラダー図をコードに変換することが必要になる。それに加えて、コンピュータ上で、ラダー図を製図するための GUI も必要になる。ELFI は、これら 2 つの必要な要素を提供するように開発を行った。

また、ELFI 使用者が、ラダー図を用いたシーケンス制御の学習に専念できるように、ELFI は、ラダー図からコードを生成し、Arduino に転送するまでを自動的に行うようにした。これは、ELFI がコード生成し、Arduino IDE を呼び出して、そのコードを渡すことにより、実現する。

ELFI は、Microsoft Windows 上で動作することが求められた。これは調査した 7 つの高校で、生徒が授業などで使用するコンピュータの OS は全て Microsoft Windows であったためである。ELFI を開発するにあたって、Microsoft Visual Studio 2015 を開発環境として選び、使用プログラミング言語は C# を用いた。

#### 4.4. 画面構成

ELFI 全体の画面構成を、図 3 に示す。上部に位置するツールバーから a 接点や電磁リレーなどのコンポーネントを選択し、画面上をクリックすることでラダー図を描く操作方式とした。各ツールバーの役割について、図 4 に示す。図 4 にある各種コンポーネンツについて、コンポーネントの「名前」とその「種類」、「Arduino のポート」を対応させることで、本稿の簡易 PLC を動作させる。その設定画面が図 5 となる。

ELFI を使用して、本稿の簡易 PLC を動作させるまでの流れは、次のようになる。

1. 各コンポーネント(接点やタイマなど)を用いて、ラダー図の製図
2. 「Arduino の場所」からプログラムの転送先を選択する
3. 「ピンアサイン」を使用して、Arduino のポートとラダー図を結びつける
4. 「Arduino に書き込む」をクリックする

4 の段階で、ラダー図にピンアサインの設定などに不備があれば、後述するように、エラーとして使用者に知らせる。不備がなければ、ELFI がラダー図からのコード生成、コンパイル、およびプログラム転送までを自動で行い、使用者は Arduino のプログラムを作成する必要がない。

その他の機能として、ELFI は、工業高校での「実習」や技能検定での使用を目的とした教材開発であるため、「ラダー図の印刷と画像として保存」と「コメント」の機能も追加した。

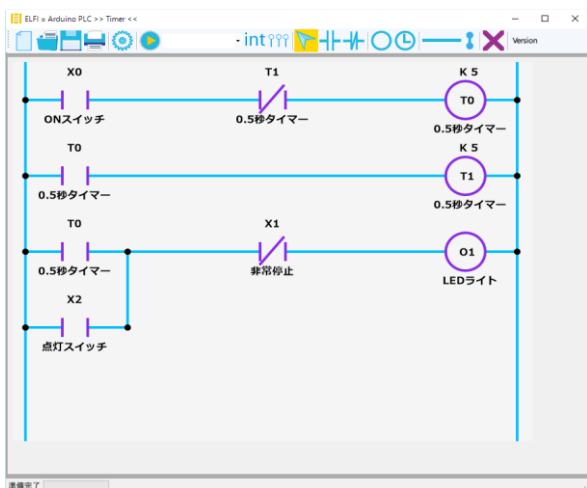


図 3 ELFI のラダー図作成画面

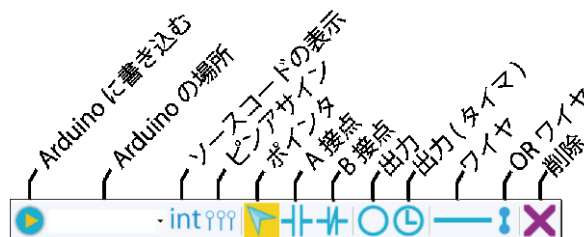


図 4 ツールバーの主要な部分の役割

名前	コンポーネントの種類	Arduinoポート
O1	出力	3
X0	A接点	4
X1	B接点	5
X2	A接点	6

図 5 ラダー図上の接点や出力を Arduino のポートへ対応させるための設定画面の一部

#### 4.5. ELFI の生成するコードの例

ELFI が生成するラダー図に対応するコードの一例として、図 6 に示すラダー図を用いた。このラダー図に対して ELFI が生成したコードをリスト 1 に示す。

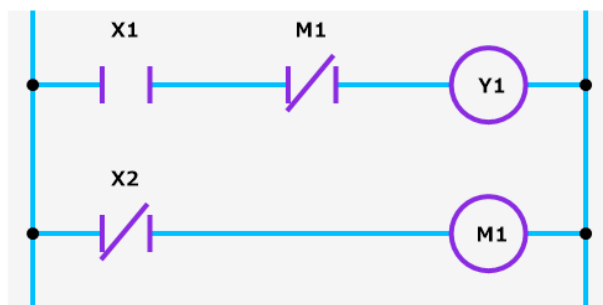


図 6 ラダー図の例

### 5. ELFI の評価とその利用に関する考察

#### 5.1. 評価方法

ELFI について、評価を兼ねて工業高校生らに実際に使用してもらい、使用後に聞き取り調査を行った。実際に ELFI を使用した対象者（以下、テスター とする）を表 6 に示す。対象者は、D 校の教員ならびに生徒である。テスター 3, 4, 5 の生徒は、2 年生であるため、シーケンス制御について未学習であったため、長期休業期間に 3 単位時間程度の説明を行い、取り組んでもらった。その後、5 人のテスターに図 7 に示す学習プリントを基に、

```
#define X1 (digitalRead(2))
#define X2 (digitalRead(3))

int Y1 = 0;
int M1 = 0;

void setup()
{
  pinMode(2, INPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);
  digitalWrite(13, 0);
  pinMode(3, INPUT);
}

void loop()
{
  Y1 = (!M1 && X1);
  M1 = !X2;
  digitalWrite(13, Y1);
}
```

リスト 1. 図 6 に対する ELFI が生成したコード

本稿の簡易 PLC と ELFI を用いて、各問題を解いてもらった。終了後、テスターである生徒には、ELFI の操作性について、利用しにくい点や改良してほしい点はないかの 2 点を、教員にはそれらに加え、授業での使用は可能と考えられるかについての聞き取り調査を行った。

表 6 聞き取り調査の対象者

テスター	所属学科		シーケンスの学習状況
テスター1	教員	情報系	—
テスター2		機械系	—
テスター3	生徒	情報系 (2年生)	無
テスター4			無
テスター5			無

### 5.2. 工業高校での利用に関する考察

使用した生徒からは、「利用しやすい」、「マウス操作のみで動作させることができるので簡単に使用できる」などの回答が得られた。教員からは、「市販されているソフトウェアと同様の操作方法であるため使用しやすい」や「インストールする必要がないため、すぐに授業に取り入れることができる」などの回答であった。

シークェンス制御					
《1/0割り付け》					
入力			出力		
アドレス	端子番号	備考	アドレス	端子番号	備考
X0		BS1 (a接点)	Y0		LED1
X1		BS2 (a接点)	Y1		LED2
X2		BS3 (b接点)	Y2		LED3
X3		スライドスイッチ			



《課題1》

- 1: BS1を押すと、LED1が点灯する回路。
- 2: BS2を押すと、LED2が点灯する回路。
- 3: BS3を押すと、LED3が点灯する回路。
- 4: BS1を押すと、LED1が消灯する回路。
- 5: BS3を押すと、LED3が点灯する回路。

図 7 本実践におけるシーケンス制御学習課題の一部

しかし、それらとは反対にテスター全員から「ピン設定のエラーがわかりにくい」との意見があった。さらに、生徒からは「タイマーの秒数を入力する部分をもう少しわかりやすいように表示してほしい」、教員から「授業で使用するため、カウンタも入力できるように修正してほしい」、との要望もあり、「ピン設定」と「タイマー」の 2 点が課題であることが聞き取り調査より明らかとなった。

そこで、ピン設定のエラーについて、図 8 の破線部内に示したように、使用者が解りやすいようエラー部分について配色を行い、その内容を画面に表示するよう変更を行った。次に、タイマーに関しては、図 9 に示すように他のコンポーネントの設定画面と同様にし、タイマーを入力した場合のみ、破線部内がハイライトされ、時間定数を入力できるように変更した。

最後に教員から要望のあったカウンタ回路については、図 10 の破線部に示したように、カウンタとカウンタを初期状態に戻すリセット機能を追加し、それらの機能を使用できるよう追加、修正を行った。

追加・修正した ELFI を再度モニターであった教員に使用してもらい、前回の調査と同様に聞き取り調査を行った。聞き取り調査から、工業高校での授業やシーケンス制御作業試験でも使用可能であるとの回答を得ることができた。一連の聞き取り調査を終えて、工業高校の授業において、ELFI は利用できそうであると判断し、現行高等学校学習指導要領の教科「工業」<sup>[10]</sup>のどの科目で利用できそうかを検討した。その結果、工業科の 61 科目のうち、「課題研究」、「実習」、「情報技術基礎」、「生産システム技術」、「電子機械」、「電子機械応用」、「電気機器」、「電子計測制御」、「電子情報技術」、「コンピュータシス



テム技術」で利用可能な傾向があることが明らかになった。

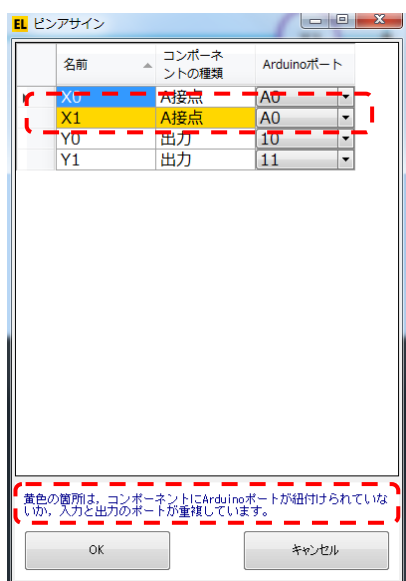


図 8 ピン設定においてエラー部分に配色ならびにコメントが表示されるよう変更した画面の一部

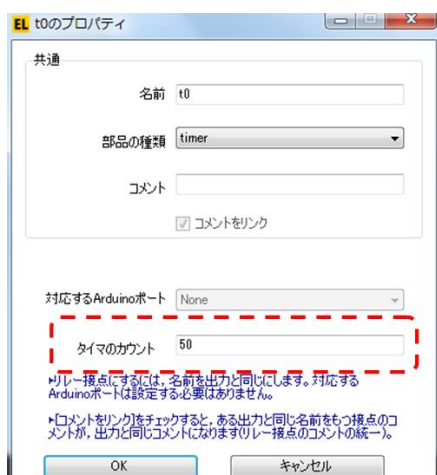


図 9 タイマー入力時のみ、ハイライトされる部分



図 10 追加したカウンタとそのリセット機能

## 6. おわりに

本稿では、工業高校生を対象とした資格取得に関する調査研究の課題を踏まえ、GUI環境でラダー図を描き、それと同等なプログラムに変換して Arduino に書き込む ELFI の開発を行った。ELFI を工業科に従事している教員および工業高校生に使用してもらい、ELFI の課題を追究し、ELFI が工業高校で使用可能であるかを、聞き取り調査した。その結果、ELFI はマウス操作のみで動作させ

ることができるので簡単に使用できること、工業科の 61 科目のうち、「課題研究」、「実習」、「生産システム技術」など 10 科目で利用可能な傾向があることが明らかになった。

### 註

[註 1] 教科「工業」の科目「工業技術基礎」、「実習」では、ローテーション方式が採用されていることが多い。例えば、1 クラス 40 人としたとき、出席番号 1~10 番までの 10 人単位を 1 グループとしてと、グループを構成させ、4 つの実習をローテーションで行う方法である。このグループは、通常、出席番号順で決められることになる。実習内容は、いわゆる座学と運動した内容となる。学習内容がグループ単位で実施されるため、機器類も 10 台前後しか設置されていない。

[註 2] ジュニアマイスター顕彰制度とは、全国工業高等学校長協会がドイツの産業発展において重要な役割を果たしたとされる「マイスター制度」を参考に、全国の工業系学科に在籍する高校生を対象として、①目的意識を持って意欲的に学習に取り組むことを促す上で、生徒が身につけた知識・技術・技能を積極的に評価する、②工業系学科の生徒が、自信と誇りを持って産業界で活躍できるよう励ます、ことを目的として制度がスタートした。各々の資格のレベルに応じて区分が設けられており、S:30 点、A:20 点、B:12 点、C:7 点、D:4 点、E:2 点、F:1 点と点数が設定されている。この区分の中から生徒が在学中に取得した資格の等級、参加したコンテストに対して得た点数の合計によって、30 点以上で「ジュニアマイスターシルバー」、45 点以上で「ジュニアマイスターゴールド」の称号が与えられる。一部企業では各校の「ジュニアマイスター」在籍数を常に把握し、これをもとに求人票を出す学校を決める際の参考に利用しているところもある。専門学校・大学では、AO 入試の一環として「ジュニアマイスター顕彰制度入試」を実施し、「ジュニアマイスター」の入学を優遇する学校もある。いずれも、入社・入学の各試験では学業成績以外の能力評価基準として利用されている。

### 参考文献

- [1] 大迫昭彦, 東正之, 日高義浩, 福岡大輔:「宮崎県の工業高等学校における資格取得の取り組みの動向とその一考察」, 日本産業技術教育学会九州支部論文集, No. 18, pp. 73-79 (2011).
- [2] 日高義浩, 大迫昭彦, 東正之, 福岡大輔:「工業高校生の資格取得に関する一考察」, 教育情報研究, Vol. 26, No. 4, pp. 37-43 (2011).
- [3] 斉藤武雄・田中喜美・依田有弘:「工業高校の挑戦—高校教育再生への道—」, 学文社, (2005).
- [4] 日高義浩・東正之・大迫昭彦・山崎啓広・福岡大輔:「簡易プログラマブルコントローラの開発～技能検定「電気機器組立てシーケンス制御作業」に焦点を当てて～」, 教育情報研究, Vol. 27, No.2, pp. 31-38 (2011).
- [5] 日高義浩・東正之・大迫昭彦:「簡易プログラマブルコントローラを用いた事例研究」, 日本産業技術教育学会九州支部論文集, No. 20, pp. 145-149 (2013).

- [6] 樫本弘・平社信人：「Arduino を用いたマイコン制御の入門教育」, 群馬高専レビュー, No. 33, pp. 69-77 (2014).
- [7] 連枝,  
<http://yoshimnjp.webcrow.jp/renri/download/download.html>.
- [8] 山田裕久・江馬諭：「PLC 実習に必要な能力とその評価に関する基礎研究」, 日本産業技術教育学会, Vol. 56, No. 2, pp. 135-142 (2014).
- [9] 長谷川雅康：「高等学校工業科の実験・実習内容の変遷に関する一考察 —機械科・電気科の事例—」, 鹿児島大学教育学部研究紀要教育科学編, Vol. 56, pp. 43-61 (2005).
- [10] 文部科学省：「高等学校学習指導要領解説工業編」, 実教出版, (2010).
- [11] 中央職業能力開発協会,  
<http://www.javada.or.jp/jigyuu/gino/giken.html>.
- [12] 全国工業高等学校長協会, <http://www.zenkoukyo.or.jp/>.
- [13] 宮崎県職業能力開発協会：「能力開発みやざき」, No. 85, pp.5 (2016).

(原稿受付 2017/11/6, 受理 2017/5/24)

\*平田拓也, 博士 (工学)

大島商船高等専門学校, 〒742-2193 山口県大島郡周防大島町大字小松 1091 番地 1

Takuya HIRATA, Electronic-Mechanical Engineering Department, National Institute of Technology, Oshima College, 1091-1 Komatsu, Suo-Oshima, Oshima, Yamaguchi, 742-2193.

Email: hirata@oshima-k.ac.jp

\*日高義浩, 博士 (教育学)

宮崎県立宮崎工業高等学校, 〒880-8567 宮崎県宮崎市天満町 9-1

Yoshihiro HIDAKA, Course of Computer Engineering, Miyazaki prefectural Miyazaki Technical High School, 9-1 Tenman-cho, Miyazaki-City, Miyazaki, 880-8567.

Email: hyhiro@miyazaki-c.ed.jp