

令和2年度職業訓練教材コンクール 厚生労働大臣賞(入選)受賞

ビジュアルプログラミングを活用した マイコン及びC言語の導入教材

四国職業能力開発大学校 及川 達裕

1. はじめに

組込み分野の初学者にとって従来型のマイコン制御プログラミングを学ぶうえでの課題は、インターフェース回路とマイコンプログラミングの双方を同時に学習することにあった。

特に、これまでの訓練教材の多くはプログラミング言語に「アセンブラ言語」を使用することが多く、初学者にとっては難解であり、学習の初期段階からマイコンに対する苦手意識を持ってしまう大きな要因だったと言える。

昨今の組込み開発においては、アセンブラ言語の使用率は低下しており、日々広がる組込み分野の技術習得のためにはカリキュラムからアセンブラ言語を除外することも増えてきた。そこで、今回はアセンブラ言語に代わってビジュアルプログラミング言語を採用することで、初学者の心理的な敷居を下げると同時に、インターフェース回路設計、IO制御プログラミングの本質を学ぶことに絞ることとした。また、最終課題には「デジタル温度計の開発」といった初学者にとって身近で製品をイメージしやすい課題テーマを設定し、動機付けにも配慮した教材「ビジュアルプログラミングを活用したマイコン及びC言語の導入教材」を開発した。

今回、開発した教材の一覧は以下の通りである。

- ① 訓練生向け訓練用テキスト
- ② 指導員向け教材の取扱説明書
- ③ 解答のソースコード
- ④ 実習機器一式

- ⑤ 自主的な自宅学習を想定したシミュレーター環境を活用したオンライン教材

2. 開発のコンセプト

2.1 教材開発の目的

本教材は、筆者が令和2年度まで所属していた熊本職業能力開発促進センター（以下、「熊本センター」という）の離職者訓練「組込みマイコン技術科」にて開発・運用していた教材である。

教材開発の発端は、熊本センターにて使用していた教材の老朽化・陳腐化にある。従来、H8系のマイコンとアセンブラ言語を組み合わせた訓練を実施していたが、実習機器の老朽化と時代の変化への対応を図るために教材の刷新の必要があった。学習内容はそのままに他のマイコンボードへの移行も検討したが、アセンブラ言語そのもののニーズの減退、組込み初学者にとってのアセンブラ言語の敷居の高さという観点から、元々の教材と同様の学習内容で教材を刷新するには適さないと判断した。

そこで、近年のSTEM教育^{*1}の成果物でもあるビジュアルプログラミング言語を活用し、プログラミングの敷居を格段に下げ、「組込み初学者が挫折しない、そして次の学習につながる教材」といったコンセプトで教材開発を行った。

^{*1} Science (科学), Technology (技術), Engineering (工学), Mathematic (数学) の各分野を横断的に学ぶ、次世代を担う子供向けの教育の考え方の1つ。

2.2 対象ユニットと適用実績

本教材は、離職者訓練の組込みマイコン技術科のカリキュラムモデル（表1）で活用することを前提としており、第1システムの第5、6ユニットの6日間（計54時間）での利用を想定している。

- 第5 ユニット：インタフェース回路設計1（入力・表示回路）
- 第6ユニット：I/O制御プログラミング（入力・表示）

なお、熊本センターの組込みマイコン技術科では、令和2年に本教材を適用した訓練を2度実施している（表2）。また、中部職業能力開発促進センターのマイコンプログラム技術科でも本教材をベースとした教材を適用した実績がある。

表1 教材を適用した熊本センターのカリキュラム

システム名	ユニット名
マイコン周辺回路とプログラミング (18日間)	電気理論(総論)
	基礎アナログ電子回路
	基礎デジタル電子回路
	はんだ付け基本
	インタフェース回路設計1(入力・表示回路)
組込みシステム開発のためのC言語プログラミング (18日間)	I/O制御プログラミング(入力・表示)
	C言語開発環境とオペレーション技術
	C言語プログラム開発(演算子/制御文)
	C言語プログラム開発(関数/配列/ポインタ)
	C言語プログラム開発(ポインタ応用)
	C言語プログラム開発(構造体/共用体)
組込みマイコン開発 (18日間)	C言語プログラム開発(プリプロセッサ/ファイル操作)
	基本入出力制御プログラミング
	組込みプログラムの開発法
	タイマを利用した制御プログラム
	シリアルインタフェースを利用した制御プログラミング1
	シリアルインタフェースを利用した制御プログラミング2
応用課題(課題名: ライトレースカーによるチーム開発演習)	

表2 適用した離職者訓練の概要

対象	熊本センター 組込みマイコン技術科 令和2年3月入所生 19名 令和2年9月入所生 20名
期間	2ユニット・6日間(54時間)
備考	前段の訓練(アナログ回路、デジタル回路)を通じて、電子回路の基礎は習得している

2.3 教材に採用したツールや機材の選定ポイント

近年のSTEM教育の流れより、Arduinoやmicro:bit、Raspberry Pi向けのビジュアルプログラミング言語および教材は多く存在する。しかしながら、それらの大半は小中学生向けを想定しているため、ハードウェアは抽象化され、マイコンと周辺回路とのイン

ターフェースは隠蔽化されてしまっているものが多い。

そこで今回は、IOやAD入力、PWMといったカリキュラムとして学ぶべきマイコンのインターフェースが制御できるツールを選定した。加えて、マイコンの周辺回路には前段のアナログ回路・デジタル回路の訓練で学んだ回路を組み込み、直近のユニットとの学習内容のつながりを意識したとした。

マイコンボードは、世の中で広く普及したArduino UNOを採用したことで、互換ボードや拡張用途のシールドも含めて、機材の選択肢に幅が広がり、また安価に実習機材をそろえることが可能となった。さらには、電子回路およびArduinoのプログラムのシミュレーションが可能なオンラインのツールを利用して、PCだけでもテキストの内容をおおむね実施できる学習環境も整備した。

3. 教材の内容と実習機材

3.1 ビジュアルプログラミング言語

ビジュアルプログラミング言語には、Google社が提供するBlocklyをArduino向けに派生させたBlocklyDuino（図1）を使用している。C言語やアセンブラ言語でコードを記述する際によく見られる記述漏れや打ち間違いを起因とする構文エラーも少ないため、初学者でも挫折しにくい学習に適したツールと言える。

その結果として、本訓練中のプログラミング言語そのものの習得に割く時間を大幅に短縮することができ、本来学ぶべきインターフェース回路やIO制御プログラミングの内容にフォーカスすることが可能となった（図2）。



図1 BlocklyDuinoの画面

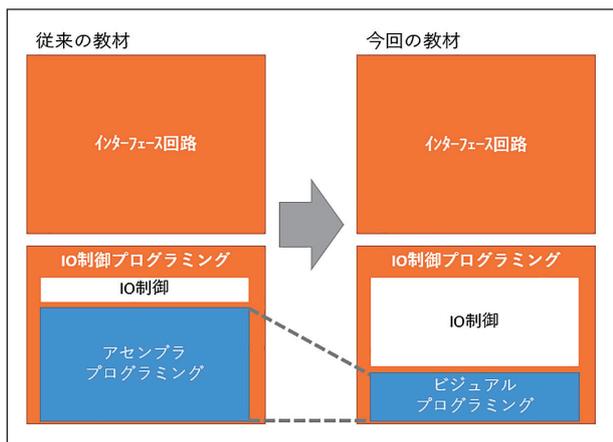


図2 従来教材と今回の教材での時間配分イメージ

また、ビジュアルプログラミング言語でもプログラミングの基本である逐次・分岐・繰り返しや、変数・関数といった概念を習得することができ、今後学ぶC言語の学習にもつながるといったメリットもある。

3.2 実習機器

実習機器は、主に「Arduino UNO」「マルチファンクションシールド」「ブレッドボードおよび電子部品」の3つから成り立つ。

マイコンボードには、秋月電子から販売されているArduino互換ボード「ATmega168/328マイコンボードキット（図3）」を選定し、訓練生が前段のハンダ付けの訓練にて組み立てを行ったものを活用している。訓練生が自ら作成したボードを使用することで機器そのものに対する愛着が湧く効果も期待しての選定であるが、本教材を使用する上では他のArduino互換ボードでも問題は無い。

マルチファンクションシールド（図3）は、LED、ブザー、タクトスイッチ、7セグLED、可変抵抗が備わったArduino向けのシールドであり、別途温度センサー（LM35Z）の追加実装も可能である。本シールドのLED回路やスイッチ回路、7セグLED回路は、前段のデジタル回路の訓練で学んだ回路と同一、もしくは発展させた回路であり、訓練生にとってマイコンと電子回路の結び付きを実感してもらうことを期待している。

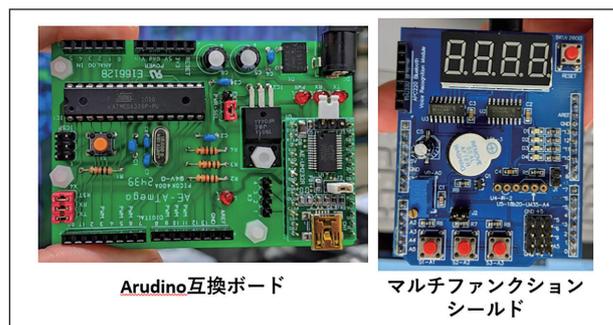


図3 実習で使用するマイコンボードとシールド

ブレッドボードおよび電子部品（図4）は、マルチファンクションシールドだけでは不足する回路を追加実装するために使用する。タクトスイッチのチャタリング防止回路や、CdSによる光センサー回路が実装される。なお、この光センサー回路は前段のアナログ回路の訓練で学ぶ回路でもあり、ここでもマイコンと電子回路の結び付きを実感できる効果が期待される。

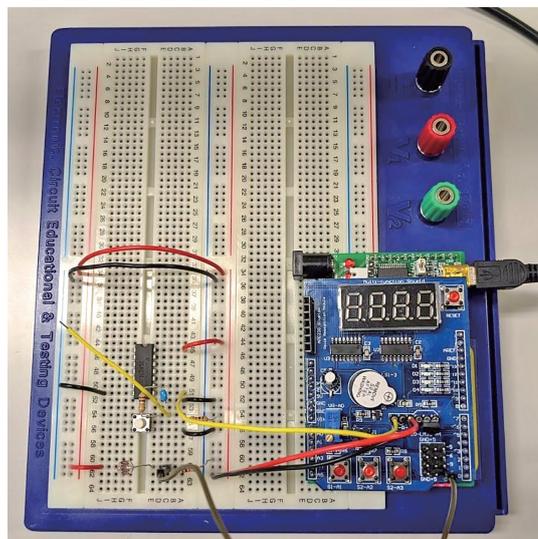


図4 ブレッドボードと組み合わせた実習回路

3.3 実習課題

実習の最終課題には訓練生にとって身近な「デジタル温度計（図5）」を開発するテーマを設定した。さらに訓練生の進捗^{しんちよく}に応じた発展課題として、照度計や経過時間カウンターなどの機能を追加実装する課題を設定した。

この発展課題は、Arduinoに接続される周辺回路の大半を制御する必要がある、結果として第1シス

テムで学んだ内容の「総まとめ」となる課題になる。

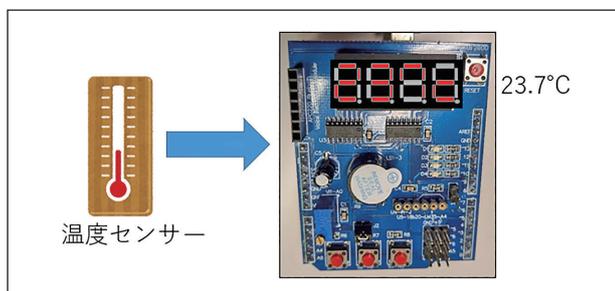


図5 デジタル温度計の課題イメージ

3.4 実習機器・機材のコスト

学習意欲の高い訓練生にとって、自身でそろえられる学習環境・開発環境は、学習をより促進する重要な要素の1つであることから、「離職中の訓練生でも購入可能な安価で扱いやすい機材」といった観点からも実習機材の選定を行っている。

本教材のメインは、Arduino UNOマイコンボードとマルチファンクションシールドであり、この2つがそろえば実習内容の6~7割程度を自習が可能である。この2つは、大手通販サイトなどでも購入が可能であり、互換品などの安価な製品を選定すれば1,500円程度でそろえることが可能である。また、ボードとシールドの接続も専用コネクタにスタッキングさせるだけで済み、価格と組み立ての容易さの2つの観点から、訓練生の自己学習の敷居を下げるとともに他の職業訓練の現場でも新たに取り入れやすいものとした。参考までに訓練生20名、講師1名の計21セット分の部品リスト（表3）を示す。

部品リストは、熊本センターで使用した機材を元に作成したものであるが、既に整備されている機材を流用している機材も複数ある為、若干割高な構成となっている。新たに最小構成でそろえるならば、Arduino UNOをより安価な互換品で代用、AVRISPの排除、より小さなブレッドボードの選定。といったコスト削減が考えられ、結果1名分の単価あたり5,000円以下に抑えることも可能である。

表3 部品リスト

No	部材名	型番・スペック	単価	数量	小計	備考
1	ATmega168/328 マイコンボードキット	AE-Atmega	2,100	21	44,100	訓練生20人 +講師用
2	USBケーブル	1m程度, mini Bコネクタ	110	21	2,310	
3	AVRISP	1597-1524-ND・Seeed	3,670	21	77,070	
4	ブレッドボード	SRH-32・サンハヤト	3,520	21	73,920	
5	マルチファンクション シールド	GK-SLD1・aitendo	698	21	14,658	
6	CdS 1MΩ	I-05886	25	21	525	
7	カーボン抵抗	1kΩ, 1/4W	1	21	21	
8	タクトスイッチ	P-03648	10	21	210	
9	74HC14 IC	TC74HC14AP	40	21	840	
10	積層セラミックコンデンサ	0.1uF	15	21	315	
11	電解コンデンサ	10uF	10	21	210	
12	カーボン抵抗	10kΩ, 1/4W	1	42	42	
13	ジャンパ線 オスオス	単芯線材を流用	0	21	0	線材で流用
14	ジャンパ線 オスオス	200mm程度の長さ	440	21	9,240	
			10,640 円		223,461 円	

3.5 オンライン教材の整備

本教材は、訓練生の自己学習の支援・今後社会的な情勢等を踏まえて考えられるオンラインでの訓練も想定して、Tinkercadのシミュレーション機能を用いることによるオンライン対応教材も合わせて開発した。

Tinkercadは回路のシミュレーション機能に加えて、Arduino UNOのプログラミングおよびシミュレーション機能も併せ持つ強力なオンラインツールである。利用者は専用のアカウントを作成する必要があるものの、基本的に無償で利用できる。

今回は、Tinkercadを用いて実習で使用する回路とほぼ同様の回路（図5）を作成し、1つのURLで教材を配布することを可能にした。訓練生側としては、TinkercadのアカウントとインターネットにつながるPCさえあれば、実際の実習に近い学習環境を自宅でもオンライン上に用意することが可能である。

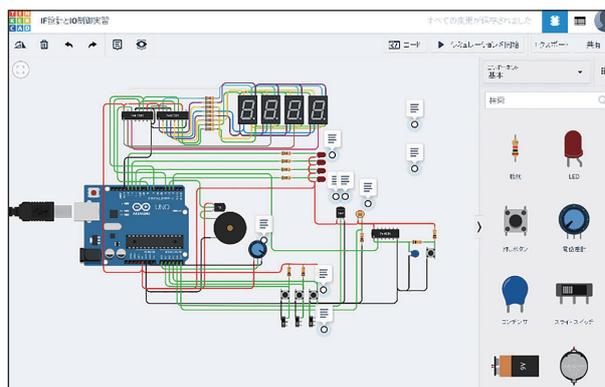


図6 Tinkercadで作成した実習データの操作画面

4. 実施評価

4.1 訓練生へのアンケート結果および考察

訓練を受講した2020年3月入所生19名のアンケートの回答結果から以下の効果が確認できた。

- A) ビジュアルプログラミング言語を用いたことによるマイコンプログラミングの学習に対する心理的な敷居の引き下げ
- B) 前段で学んだアナログ回路・デジタル回路への意識付け・理解度の向上
- C) 後段で学ぶC言語の学習への波及的な効果

A) については、「ビジュアルプログラミング自体はジグソーパズルみたいで楽しく学習することができたと思う」「プログラミングに対する苦手意識を減らせるプログラミングの導入としては良い（要約）」といった声が上がっている（図7）。このことから、本教材が訓練生の心理的な敷居の引き下げに寄与し、プログラミングに意欲的に取り組む事ができたと考える。

B) については、「カソードアノード・電圧差による電流の向きを考えないと完成しない点」「ICの役割などを考えながら学べた」といった回答が得られた（図8）。このことから、アナログ回路・デジタル回路とマイコンとの結びつきの実感が得られ、電子回路の活用方法の理解に一定の効果が得られたと考える。

C) については、「if分やfor分など処理の順番を先に知っておくことで、C言語化する時に書く順番に悩まなくてよかった」「考え方は似たような物なので理解しやすくなった」「学習した中でもfor文や関数利用が役立っている」といった回答が見られた（図9）。プログラミングの基本要素である逐次・分岐・繰り返しをはじめとする概念を体得し、C言語の学習にも寄与したことが分かる。

特にB)、C) の項目から、本教材は、本訓練の内容の習得だけにとどまらず、本訓練の前後の訓練への習得度向上にも寄与することができたと考えている（図10）。



図7 [アンケート抜粋] ビジュアルプログラミングに対する印象

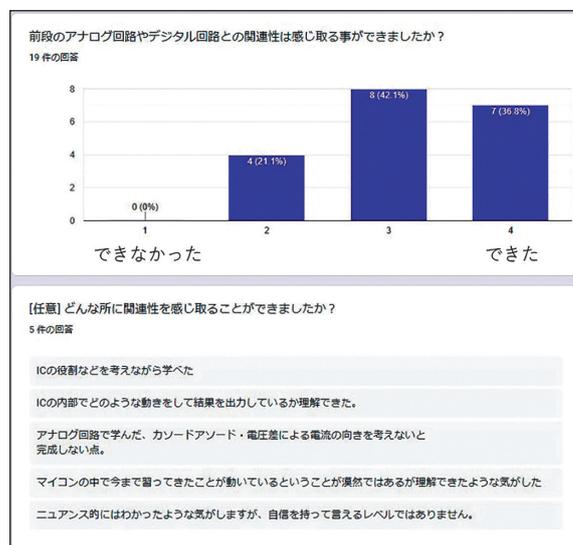


図8 [アンケート抜粋] アナログ回路やデジタル回路との関連性

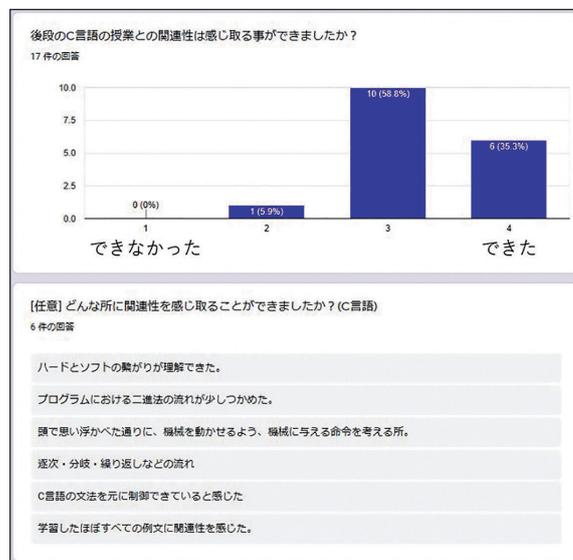


図9 [アンケート抜粋] C言語との関連性

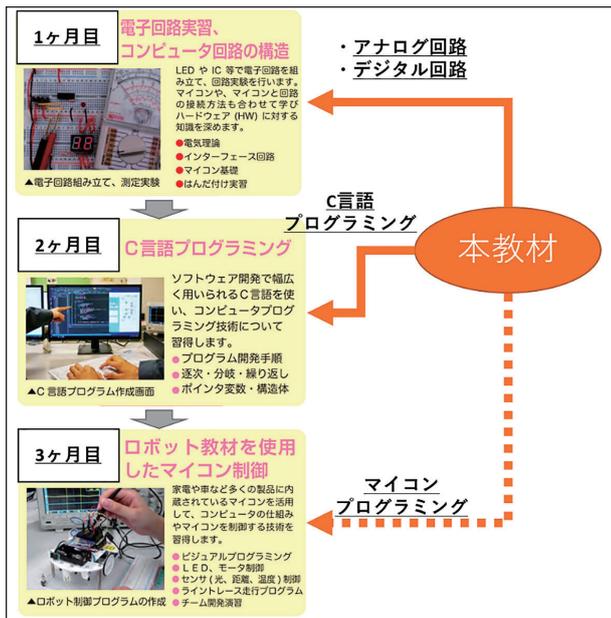


図10 本教材が与える他の訓練への影響

4.2 自己学習に取り組んだ訓練生の成果

訓練の時間外の空き時間を利用して自己学習に取り組み、C言語を学びながら、本実習機材をC言語から制御してミニゲームを作成した訓練生の成果を紹介する(図11)。訓練用テキスト内で扱った周辺回路(LED、タクトスイッチ、7セグLEDほか)をほぼすべて使い、状態遷移の考え方まで組み込んだ力作であり、ビジュアルプログラミング言語からC言語までを関連付けて学習できた成果と言える。



図11 ミニゲームの成果発表スライドからの抜粋

自己学習に取り組んだ訓練生の事例は、まだ多くはないが、このような事例をより増やしていくために、訓練生に向けた自己学習の取り組み事例の整備やTinkercadの具体的な操作の助言・課題実施などの改善を考えている。

5. おわりに

今回の教材のコンセプトである「組込み初学者が挫折しない、そして次の学習につながる教材」を実現することができた。

本コンセプトを満たす教材を、自身で1から開発することは現実的ではないが、STEM教育の流れをくみ取り、そこで利用される機材やツールをpickupし、活用したことで、限られたリソースの中でも訓練生にとって有用な教材を開発することができた。

今後も研さんに励む中で、世の中の技術的な潮流をくみ取り、職業訓練の現場にローカライズして適用を図ることで、訓練生・学生にとって実りある教育を提供していきたい。またそれと同時に、他の職業訓練指導員にとっても有用な訓練教材や実践報告を発信していきたい。

最後に、本教材は職業能力開発総合大学校 基盤整備センターのWebサイトにて公開されているため、ご興味を持っていただけた方にはぜひ参照いただき、ご自身の職業訓練の現場に適用いただければ幸いである。

6. 謝辞

本教材で利用させていただいたBlocklyDuinoの開発者の方々およびBlocklyDuinoを日本語化され公開した岡田 裕行氏に感謝致します。

また、本教材開発へ注力するためにご助力いただいた当時の熊本職業能力開発促進センターの職員および指導員各位に感謝致します。

<参考文献・参考資料>

- 1) 及川達裕, 酒井那宜, 池原寿紀:「組込み初学者向けのライントレースカー教材」平成30年度職業訓練教材コンクール
- 2) cohesivecomputing.co.uk:「Hackatronics Arduino Multi-function Shield Projects」