

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 3 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23501163

研究課題名(和文) プログラムによる計測・制御の仕組みを学ぶための初学者向き可視化教材の開発

研究課題名(英文) Visual Environment for Beginners to Learn the Mechanisms of Measurement and Control by Programs

研究代表者

松浦 敏雄 (Matsuura, Toshio)

大阪市立大学・大学院創造都市研究科・教授

研究者番号：40127296

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、中学校の「技術」分野で必修の『プログラムによる計測・制御』を学ぶための学習支援ソフトウェアおよびその教材を開発した。我々が既に開発していた初学者向けプログラミング学習環境PENを拡張し、PEN上でハードウェア制御プログラムを開発できるようにした。また、ここで開発したプログラムを、PEN上で動作させることで、パソコンから直接、入出力制御用ハードウェア(Arduino)を制御できるようにした。また、この学習環境を用いたコースウェアを開発した。実験授業の結果、多くの学生の興味をひくことができ、理解度も高かったことを確認した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop and confirm the validity of learning support software and educational materials for studying the new subject "Measurement and Control by Programs", which was introduced as a compulsory subject in the revised Course of Study for Technology for lower secondary schools in Japan. To this end, we first installed a plug-in feature to add functions to the Programming Environment for Novices (PEN), which was developed by our study group. Using this feature, we added a new set of functions that controls the hardware Arduino, and developed learning support software to study measurement and control by programs. We further prepared several examples of educational materials to learn measurement and control by programs by using the developed learning support software.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学

キーワード：情報教育 プログラミング入門 計測・制御 可視化教材 学習支援ソフトウェア

## 1 研究開始当初の背景

高度情報社会を生き抜くために、コンピュータやネットワークの仕組みの理解の重要性が認識されるようになってきた。これに伴い、平成 24 年度より中学校技術の新指導要領において、『プログラムによる計測と制御』が必修必修となった。『プログラムによる計測・制御』についての入門教育としては、数は少ないがいくつかの試みが見られるが、既存の授業実践例は、いずれの場合も、ロボットなどの機器を簡便に扱えるような工夫がなされており、そのためかえて学習者には、プログラムによる計測と制御の基本的な仕組みが見えにくくなっている。

本研究では、学習者に『プログラムによる計測と制御』の基本的な仕組みを見せるという点に重点をおいた学習支援ソフトウェアを開発し、さらに、学習者の理解を助けるコースウェアを開発する。

## 2 研究の目的

本研究では、中学校新学習指導要領における「技術・家庭」の技術分野の内容の一つである「情報に関する技術」のうち、『プログラムによる計測・制御』を学ぶための学習支援ソフトウェアおよびその教材の開発を行った。本研究では、『計測・制御』の仕組みを観察できる機能を提供することで、初学者が数回の授業(50分/回)で容易にこれらの仕組みが理解できるものを目指した。そのため、初学者にも分かりやすい言語を用いて、プログラムの動きを観察でき、デバッグも容易なプログラミング環境を提供した。なお、計測・制御の仕組みを学ぶことが目的であるので、プログラムから見たハードウェアを抽象化しすぎないよう配慮した。

## 3 研究の方法

本研究で開発した学習支援システムの核となる計測・制御プログラムを開発するためのソフトウェアとして、我々が既に開発していた初学者向けプログラミング学習環境 PEN を用いた。また、制御対象のハードウェアとして Arduino を用いた。Arduino で動作するプログラムを作成できるように PEN を拡張し、さらに、PEN で開発したプログラムを Arduino の機械語に変換してダウンロードする機能を付加した。また、PEN に Arduino のシミュレータを内蔵させることで、PEN 単独で Arduino の制御プログラムをある程度開発することを可能にした。ただし、Arduino の実動作環境での振る舞いを完全にシミュレートすることは難しいので、シミュレータを用いてある程度まで開発した後は、Arduino をパソコンに接続して、PEN 上で直接開発・デバッグが行えるようにした。

## 4 研究成果

### (1) 提案するプログラミング環境

Arduino のようなプログラマブルな機器を使用する場合、(1)Arduino 側にダウンロードしたプログラムで完結して動作させる方法と、(2)Arduino 側に(PC との)通信プログラムを予めダウンロードしておいて、PC と接続した状態で PC からの命令に従って動作させる方法がある。

(1)の場合は、電源さえ供給してやれば、自走の機器に Arduino を積んで走らせることもできる。しかし、プログラムの動作状況を把握するのは一般に容易ではない。

(2)の場合は、PC に接続したまま使用しないといけないけれども、PC 側のプログラムで直接制御できるので、PC 側に適切なデバッグ環境があれば、プログラムの動作状況の把握は容易である。

以上のことから、本研究では後者の方法を選択した。提案したソフトウェアの概要を図1に示す。

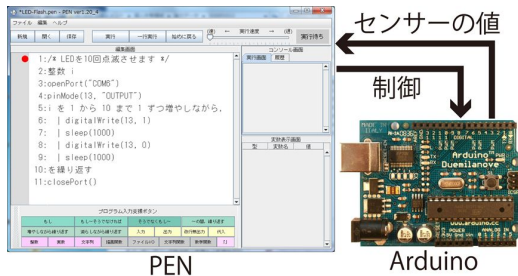


図1 提案ソフトウェアの概要

PEN から Arduino を制御する際に、Arduino 側に予め通信プログラムを書き込んでおき、PEN と対話的に通信しながら動くモデルにした。PEN のプログラムはこの通信プログラムと通信しながら、ハードウェアを制御する。

## (2) プログラミングインタフェース

Arduino を制御するための関数を表1に示す。

表1 Arduino を制御するための関数

(1) openPort(pid)	通信するためのポートを開く。pid はポート番号。シミュレータ上で動作させたい場合は "SIM" と指定。
(2) closePort(pid)	port を閉じる。
(3) pinMode(pin, mode)	指定したピンの入力/出力を設定する。 pin: ピンの番号 mode: INPUT または OUTPUT
(4) digitalRead(pin)	指定した pin の値を読み取る。結果は 0 または 1。
(5) digitalWrite(pin, value)	指定した pin をデジタル出力に設定する。Value=0 の場合は出力 pin に低電圧(Low: 0V)が、value=1 の場合は高電圧(High: 5V)が出力される。
(6) analogRead(pin)	アナログピンから値を読み取る。0~5V の電圧を 0~1023 に変換する。 [戻り値] 0 から 1023 までの整数
(7) analogWrite(pin, value)	pin に value(0~1024)を出力。 LED の明るさ変更, モータの回転速度の調整等に利用。

## (3) シミュレータ

ハードウェアシミュレータの画面表示例を図2に示す。PEN の拡張機能を使用してハードウェアの代わりにシミュレータを切り換えて PEN から制御できるようにした。



図2 Arduino シミュレータ

シミュレータでは内部状態を容易に確認することができるのでデバックにも役に立つ。

光センサー、温度センサーの情報はシミュレータコントローラから与えるように設定した。温度と光の強さは図3で示したようにスライダーで手動で調整できる。温度に関しては、-50 ~ 300 の範囲で設定できる。



図3 シミュレータコントローラ

ハードウェアシミュレータでは、ハードウェアの内部状態を表示できるようにしている。図5の Internal というボタンを押せば、図4の Arduino の内部状態表示画面が表示される。Current

Command は、Arduino シミュレータが最後に実行したコマンドを表示している。その下には、温度センサーと光センサーのシミュレータ内部での値を表示している。



図 4 内部状態表示画面

#### (4) コースウェア

50 分の授業×5 回分の授業を想定したコースウェアで用いる例題を以下に示す。

例題 1-1: 緑色の LED を 5 秒間点灯させよ。

```
1: openPort("COM3")
2: pinMode(10, "OUTPUT")
3: digitalWrite(10,1)
4: sleep(5000)
5: digitalWrite(10,0)
6: closePort()
```

例題 2-1: キーボードからテストの点数を入力し、40 点以上なら緑色 LED を、40 点未満なら赤色 LED を点灯するプログラムをせよ。

```
1: 整数 score
2: openPort("COM3")
3: pinMode(10, "OUTPUT")
4: pinMode(13, "OUTPUT")
5: 「点数を入力:」を表示する
6: score input()
7: もし score >= 40 ならば
8: | digitalWrite(13, 1)
9: | sleep(2000)
10: | digitalWrite(13, 0)
11: を実行し, そうでなければ
12: | digitalWrite(10, 1)
```

```
13: | sleep(2000)
14: | digitalWrite(10, 0)
15: を実行する
16: sleep(500)
17: closeport()
```

例題 2-2: LED1 を暗めに (明るさ 100) 点灯させた後、明るく (明るさ 255) で点灯させ、最後に消灯(明るさ 0)させるプログラムを作成せよ。

```
1: openPort("COM3")
2: pinMode(13,"OUTPUT")
3: analogWrite(13,100)
4: sleep(1000)
5: analogWrite(13,255)
6: sleep(1000)
7: analogWrite(13,0)
8: closePort()
```

例題 3-1: 緑色の LED を 5 回点滅させるプログラムを書け。

```
1. 整数 i
2. openPort("COM3")
3. pinMode(13, "OUTPUT")
4. i を 1 から 5 まで 1 ずつ増やしながら,
5. | digitalWrite(13, 1)
6. | sleep(1000)
7. | digitalWrite(13, 0)
8. | sleep(1000)
9. を繰り返す
10. closePort()
```

例題 3-2: スイッチ 1 を押したら、緑色の LED を点灯させるプログラムを書け。

```
1. 整数 a
2. openPort("COM3")
3. pinMode(13,"OUTPUT")
4. pinMode(6,"INPUT")
5. 1=1 の間,
6. | a digitalWrite(6)
```

7. | もし a=1 ならば
8. | | digitalWrite(13,1)
9. | を実行し、そうでなければ
10. | | digitalWrite(13,0)
11. | を実行する
12. | sleep(500)
13. を繰り返す
14. closePort()

例題 4-1: 温度センサー (アナログ入力ピン 5 番) から読み取り値を表示せよ。

- 1: 整数 t
- 2: openPort("COM3")
- 3: pinMode(5,"INPUT")
- 4: t = analogRead(5)
- 5: 「光センサーの値は」と t を表示する
- 6: closePort()

例題 4-2: 100 ミリ秒ごとに光センサーの値を 100 回表示する。

- 1: 整数 a,i
- 2: openPort("COM3")
- 3: pinMode(4,"INPUT")
- 4: i を 1 から 100 まで 1 ずつ増やしながら ,
- 5: | a = analogRead(4)
- 6: | 「光センサーの値は」 を表示する
- 7: | sleep(100)
- 8: を繰り返す
- 9: closePort()

## (5) 実験授業

コースウェアの妥当性を確認するために以下のような実験授業を行った。

対象 : 大阪学院高校 3 年生 15 名

日時 : 10 月 25 日, 11 月 2 日 (各 100 分)

今回の実験授業の対象学生は高校生であり、PEN の授業を前期に経験していた学生であるため、前節のコースウェアの一部修正を加えた。受講者に対するアンケートの結果の一部を以下に

示す。

今回のアンケートで各例題、演習の理解度については、ほぼ自力でプログラムを作ることができた学生は 30%、少し教えてもらって出来た人は 50%~60%で、少し教えてもらっただけでほとんどの学生が理解できることが分かった。

また、「全体的に授業は面白かったですか」の設問に対して、面白かったと答えた学生は 70%以上だったので、授業への関心度が高かったことが伺える。総合的に評価するとほとんどの学生が理解出来たことで高い評価を得た。

今回の授業について、本来中学生向けのコースウェアを元に作ったものであることと、受講者が前期に PEN の授業を受けていたため、多くの学生比較的容易に理解出来たのかもしれない。今後の課題として、中学校で授業を行い、再度評価を試みる必要がある。

## (6) まとめ

本研究では、プログラミング学習環境 PEN に拡張機能を追加し、PEN 自体を修正しなくても、任意のクラスを追加できるような機能を実現した。この拡張機能を利用して、ハードウェア (Arduino) を制御するための新たなクラスを実装した。また、初学者にとってプログラミングの難しさを感じることなく、「プログラムによる計測と制御の仕組み」が容易に理解できるような入門用コースウェアを用意した。さらに、Arduino のシミュレータを作成し、PEN から利用できるようにした。これによって、プログラムのデバッグが容易になり、また、授業で使用するハードウェアの数を減らすことが可能となった。

今後の課題として、PEN の拡張機能を利用して、Arduino 以外の他のハードウェアを制御できるような関数を追加し、生徒の学ぶレベルに応じてコースウェアを選べるようにすることなどが挙げられる。

## 5 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

[1] 山口直希, 中村亮太, 松浦敏雄, 吉田智子: LilyPad Arduino を用いたプログラムによる計測・制御の仕組みを学習するための環境構築, 大阪市立大学 大学院創造都市研究科 都市情報学専攻 電子紀要「情報学」, Vol.11, No.1 pp.27-34 (2014-3) [査読有].

[2] Chan Myae Thu, 劉 璐, 中村 亮太, 西田 知博, 松浦 敏雄: 計測と制御のしくみを学ぶための Arduino シミュレータとプログラミング学習環境, 大阪市立大学 大学院創造都市研究科 都市情報学専攻 電子紀要「情報学」, Vol.10, No.1 pp.1-10 (2013-03) [査読有].

[3] Riu Lu, 中村 亮太, 松浦 敏雄: “プログラムによる計測と制御の仕組みを学ぶための学習支援ソフトウェアの開発”, 大阪市立大学 大学院創造都市研究科 都市情報学専攻 電子紀要「情報学」, Vol. 9, No. 1, pp.16-24 (2012-03)[査読有].

[学会発表] (計 6 件)

[1] 粟田大地、中西通雄: プログラムによる計測・制御向けのプラレールを用いた学習教材, 教育システム情報学会学生研究発表会, 大阪 (2014.3.8).

[2] Tomohiro Nishida, Ryota Nakamura, Liu Lu, Chan Myae Thu, and Toshio Matsuura: “Development of Learning Support Software and Educational Materials for Studying Measurement and Control by Programs”, Ed-Media 2013 World Conference on Educational Media and Technology, CD-ROM, Victoria, BC, Canada (2013.6.24-28).

[3] 中川洋、中西通雄: 関数定義機能などを拡張した Arduino 用タイルプログラミング教材教育システム情報学会学生発表会, 大阪 (2013.3.9).

[4] 松浦 敏雄, 中村 亮太, Liu Lu, Chan Myae THU, 西田知博: “プログラムによる計測と制御の仕組みを学ぶための学習支援ソフトウェア”, 2012 PC カンファレンス, CD-ROM, 京都大, (2012.8.4-6).

[5] 主原佑記, 桐畑鷹輔, 中西 通雄: Arduino を利用した初学者向けプログラミング学習教材 Eduino 教育システム情報学会学生研究発表会論文集, 大阪, pp.138-139 (2012.3.10).

[6]. 桐畑鷹輔, 主原佑記, 中西通雄: Arduino を利用したプログラミング学習教材 Eduino 電子情報通信学会関西支部学生会, 講演論文集, 大阪, pp.78 (2012.3.9).

## 6 研究組織

### (1)研究代表者

松浦 敏雄 (MATSUURA, Toshio)  
大阪市立大学・大学院創造都市研究科・教授  
研究者番号： 40127296

### (2)研究分担者

中西 通雄 (NAKANISHI, Michio)  
大阪工業大学・情報科学部・教授  
研究者番号： 30227848

### (3)研究分担者

西田 知博 (NISHIDA, Tomohiro)  
大阪学院大学・情報学部・准教授  
研究者番号： 00283820