「実践報告」

1 人 1 台学習者用端末を活用した 計測・制御のプログラミングによる問題解決の授業実践

武藤浩二（教育学部）　谷本優太（附属中学校）

1.　まえがき

平成29年に改訂された中学校学習指導要領 [1] では，技術・家庭（技術分野）の「D 情報の技術」において「計測・制御のプログラミングによる問題解決」（以下,「計測・制御のプログラミング」）の他に「ネットワークを利用した双方向性のあるコンテンツのプログラミングによる問題解決」（以下,「コンテンツのプログラミング」）を学習することとなった。一方，令和2年度から GIGA スクール構想 [2] により小中学校において児童生徒一人一人に情報端末（以下,「学習者用端末」）が貸与されることとなり，Windows タブレット，Chromebook，iPad 等が各市町村単位で整備されている。長崎県内においては，大多数の市町が Chromebook を採用しているが，iPad と Windows タブレットを採用した自治体もある。

従来の「D 情報に関する技術」においては教科書の記述を含めて Windows PC を前提としたプログラミング実習教材が広く用いられていたが，パソコン室に設置されていた Windows PC は Windows11 への更新をすることなく撤去される趨勢にあり，今後はどの学習者用端末種であっても利用可能な実習教材が必要である。英国放送協会（BBC）が開発しマイクロビット教育財団 [3] が展開するシングルボードコンピュータ micro:bit は，何種類かのセンサと汎用入出力端子（以下,「GPIO」）を持ち Web ブラウザからプログラミングを行うことができるので，学習者用端末で「D 情報の技術」のプログラミング実習を行うための有力なプラットフォーム候補の一つである。

中学校技術・家庭（技術分野）で micro:bit を用いた先行事例として,「コンテンツのプログラミング」では佐藤の授業実践 [4] や宮崎県の提示教材 [5] 等がある。また「計測・制御のプログラミング」では市販教材もあるが [6]，導入費用と中学校技術・家庭（技術分野）でプログラミングに充当可能な時間数を考慮するとコストパフォーマンスに優れたものとは言えない。これらはいずれもブロックプログラミング環境でプログラムを作成するものである。

一方，令和 4 年度から必修となる高等学校の情報 I ではテキスト入力型の Python がプログラミング言語の一つとして採用されており [7]，また実社会においても人工知能（AI）や機械学習，Web アプリケーションの有力なプログラミング言語として広く用いられていることを考慮すると，中学校において段階的にテキスト入力型に移行していくのが適切と考えられる。このことを考慮して，我々はこれまでに「コンテンツのプログラミング」向けの教材開発や模擬授業実践を行ってきたが [8, 9],「計測・制御のプログラミング」についてはまだ着手していなかった。

本論文では，どの学習者用端末を用いても共通に「計測・制御のプログラミング」を学習できる実習装置の開発とこれを用いた問題解決の授業実践について述べる。使用したプログラミング言語は Python である。2. では授業の題材及び開発した教材について述べる。3. で授業実践結果について報告し，4. で今後の展望や課題を述べる。

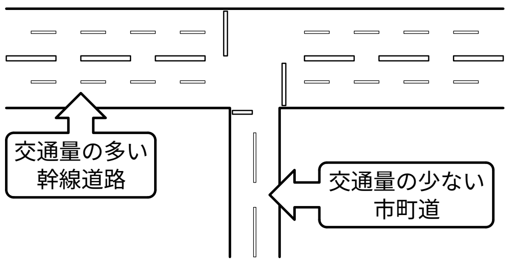

図 1　題材とした交差点モデル

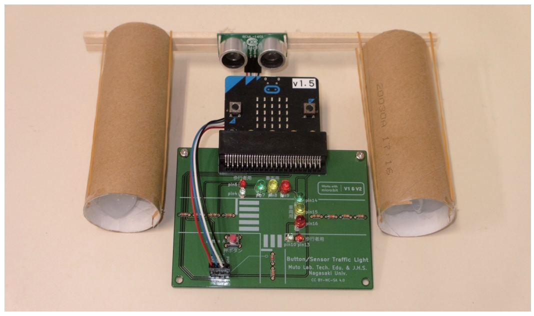

図 2　実習装置外観

2.　授業題材及び教材開発

2.1　授業題材

図 1 に示すような交通量の多い幹線道路に交通量の少ない市町道が交わる交差点モデルを考え，この交差点に設置する車道用及び歩行者用道路交通信号のプログラミングを授業題材とした。F 中学校近傍の通学路にもなっている B 町交差点の一部がこれに近い形をしており，毎朝校長先生が生徒の交通誘導をしているので，F 中学校の生徒にとって身近な題材であるといえる。

この題材では，幹線道路を横断する歩行者用信号は押ボタン式信号を，また幹線道路に出る車道用信号には感知式信号を想定し，これらのプログラミングを考えさせる授業を構成することとした。

2.2　教材開発

本授業実施のための実習装置は，1 人 1 台の学習者用端末を利用するため，クラスの人数分及び予備機の合計 40 台を準備した。市販教材はないので，101.6 × 76.2 mm のプリント基板を設計して外注製造し，部品実装を大学で行った。実習装置の外観を図 2 に示す。

プリント基板表面には図 1 の交差点モデルとそこに新設する横断歩道を模式化したものをシルク印刷で表現することにより，生徒が交差点の状況を把握できるようにしている。基板表面には信号機の各ランプを模擬する LED ならびに押ボタンを配置し，基板上部のエッジコネクタに micro:bit を挿入するようにしている。基板上の押ボタンは micro:bit 本体のボタン A と並列接続しているので，押ボタン式信号としての操作は micro:bit 本体でも行うことができる。各 LED の横には，プログラミングの際に必要となる micro:bit の GPIO ピン番号をシルク印刷している。

このプリント基板に装着する micro:bit は，2020 年 10 月にリリースされた V2 を基板と同数準備した。なお，本実習装置はより古い micro:bit V1.5 でも動作し，図 2 では V1.5 を装着している。

感知式信号のためのセンサには超音波距離センサを採用した。このセンサは，送信トランスデューサから 40 kHz の超音波パルスを発射し，その発射時刻と物標に反射して受信トランスデューサに戻ってきた反射波の受信時刻との時間差から物標までの距離を求めるセンサである。超音波パルス発射時刻を t_0，反射波受信時刻を t_1，音速を c とすれば，距離 d は

$$d = \frac{c(t_1 - t_0)}{2} \tag{1}$$

表 1　題材の設定時数と内容

段階	時数	「授業の目標」，内容，指導事項
I	2	「自動掃除ロボットの仕組みを解き明かそう。」 ・計測・制御システムの構成要素に関する理解 ・アクティビティ図の書き方の理解
II	1	「F 中前の渋滞を技術の力で解決しよう。」 ・生活の中から問題発見，課題設定 ・解決策の構想
III	6	「信号機の制御をしよう。」 ・Python の動作に関して ・通常の信号機制御（順次，反復） ・押しボタン式信号の制御（順次，反復，条件分岐） ・最適解の検討
IV	2	「よりよい解決策を考案しよう。」 ・新たな問題発見，課題設定

で求められる。音速 c は温度により変化するが，プログラム内での計算には 20 °C での近似計算値 343.3 m/s を用いた。0〜40 °C の温度範囲での測距バラツキは ±3.5% 以内である。なお超音波距離センサは時間情報をディジタル値に変換するので，厳密にはアナログ信号振幅をディジタル値に変換する AD 変換（analog to digital conversion）ではなく，TD 変換（time to digital conversion）型のセンサである。

入手容易な HC-SR04 型の超音波距離センサは 5 V 電源が必要であるが，本実習装置の電源は micro:bit からの 3.3 V であるため，3 V で動作可能な RCWL-1601（Adafruit 4007）[10] を用いている。動作原理やタイミングチャートは HC-SR04 と全く同一である。超音波距離センサはトイレットペーパの芯と割箸で作ったゲートに設置し，200 mm 長のケーブルを介して基板下部のピンヘッダに接続する。ゲート脚部となるトイレットペーパ芯の根元にはシリコンシーラントを約 20 mm 厚で充填し，転倒防止を図っている。

回路図及びソースコードをそれぞれ付録 A 及び付録 B に示す。

3.　授業実践

本実践は，F 中学校第3学年 4 学級 142 名に対して実施した。時間設定は 11 時間で，その概要を表 1 に示す。

段階 I に関しては，自動掃除ロボットを例示し，どのような手順を経て，動作をしているのかを追究する学習に取り組んだ。製品を使用したり，動作している様子を見たりしたことはあるが，具体的な仕組みやプログラムに関して正しく説明できる生徒は多くいなかった。この学習過程で，インタフェース，アクチュエータ，センサ，コンピュータ等の概念的な理解と，アクティビティ図の理解に関して指導を行った。

段階 II から段階 IV までが，開発教材を用いた実践である。

段階 II に関しては，問題発見と課題設定を実施した。図 3 及び 4 は，授業で生徒に提示した地図及び現地写真である。生徒の実体験やこの図から見て思うことをワークシートに記述させた。生徒たちの記述からは，

- 時間によって車の通りが多く，左折する際に多くの時間がかかること
- 右折禁止の標識があるため，市街地に行く際に遠回りをしなければならないこと

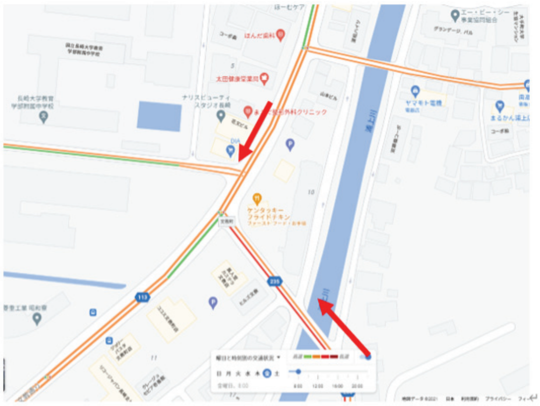

図 3　生徒に提示した F 中学校周辺の地図（Google Map の地図に矢印を教員が追記）

図 4　生徒に提示した F 中学校周辺の車両の通る様子

用途		自動車用			自動車用			歩行者用		歩行者用		備考欄
色		青	黄	赤	青	黄	赤	青	赤	青	赤	
P I N		7	8	9	14	15	16	4	6	10	13	
順番	1	1	0	0	0	0	1					青がON
	2	0	1	0	0	0	1					黄がON
	3	0	0	1	0	0	1					赤がON
	4	0	0	1	1	0	0					
	5	0	0	1	0	1	0					
	6	0	0	1	0	0	1					
	7											
	8											
	9											
	1 0											

図 5　生徒用ワークシートの抜粋

- 高齢者が横断歩道を渡る際に，車が列をなしてしまい渋滞すること

などの問題点が挙げられた。高齢者に関わる問題点が多くの生徒から挙げられたのは，同時期に家庭分野で高齢者に関する学習を行っていたことが起因していると考えられる。

この問題を解決するためにできることを考えさせると，歩道橋や地下通路を建設するといったものや，信号機を建設するという意見があった。情報の技術を用いることを想定すると，信号機を建設するという方向性で定まり，本題材のめあてを「F 中前の道路に安心，安全な信号機をつくろう」と設定して，授業実践を行った。

段階 III では，実際の信号機制御に関する学習を行った。micro:bit に初めて触れる生徒に対して，接続の方法やプログラムの書き込みに関して説明をした後に，ピン番号の指令通りにプログラムが動くことを確認した。そのため，第1時では，1 つのライトのみ点灯させるまでに留めた。プログラムはテキストファイルにして Google classroom に掲載し，適宜使用させた。第2時では，車両用の信号機を順次処理を用いて，順番に点灯及び，消灯ができるようにした。第3時では，第2時で試作したものは一度限り点灯及び消灯を行うようになってしまっているが，同じ動作を繰り返すための方法に関して反復処理を用いることができることを学習した。この際，Python を記述する際のスペースキーや，タブの入れ方など，困難さを抱える生徒が多くいた。第4時では，歩行者用信号機について第2，3時で行った学習を基に，自ら考えて記述をさせた。点滅をさせる際に順次処理や反復処理で記述する生徒がおり，最適化の契機になっ

たと考えられる。第5時，第6時では，押しボタン式信号機に関する制御を行うことができるようにした。この際，`if` 文に関する記述の方法をテキストベースにして Google Classroom に掲載し，自ら問題を解決できるように促した。自動車用信号機のみの制御を考えていたが，生徒によっては，歩行者用信号機と組み合わせて作成した生徒も出てきた。授業実施の過程において，生徒の思考を整理しやすくするために図 5 のようなワークシートを生徒に使用させた。このワークシートは各 LED の点灯・消灯の状態を時系列で表現するようにしたもので，生徒は完成したワークシートからプログラムの動作を考えることができる。ワークシートの作成及びプログラミングは 1 人 1 台学習者用端末を用いて実施した。

4. むすび

本研究では，GIGA スクール構想によって整備された 1 人 1 台学習者用端末を活用する中学校技術・家庭科（技術分野）の「計測・制御のプログラミング」のための教材開発とこれを用いた授業実践を行った。題材として T 字路交差点に設置する道路交通信号を取り上げ，歩行者用には押しボタン式，車両用には感知式の信号機をプログラムで動作させる実習教材を開発・製造し，授業実践を F 中学校第3学年 4 クラスの生徒に対して行った。

計 11 時間の授業時数で歩行者用信号に押しボタン式の制御を行うところまで実施できたが，超音波距離センサを用いた感知式信号の制御までは実施することはできなかった。これは「D 情報の技術」のもう一つの学習項目である「コンテンツのプログラミング」との学習順序や学習内容を考慮したカリキュラム構成をすることで実施できるのではないかと考えられる。この点をさらに検討し，当初構想した感知式信号の制御も行える授業開発を目指したい。

また本授業実践ではプログラミング言語として Python を用いたが，県内で採用されている学習者用端末のうち iPad では作成した実行形式プログラム（拡張子 hex）をそのままの拡張子で保存できず micro:bit にダウンロードできないので，何らかの対策を検討する必要がある。

謝辞

本研究は，学部長裁量経費（令和3年度研究企画推進委員会プロジェクト）の助成によるものである。

参考文献

[1] 文部科学省，中学校学習指導要領（平成29年告示）解説 技術・家庭編，開隆堂，2018
[2] 文部科学省，“GIGA スクール構想の実現について”， https://www.mext.go.jp/a_menu/other/index_00001.htm (2022.03.21 確認)
[3] Micro:bit Educational Foundation, “micro:bit”, https://www.microbit.org/ (2022.03.21 確認)
[4] 佐藤敦，“micro:bit を活用した双方向性のあるコンテンツの制作②”, 北海道教育大学附属札幌中学校教育研究大会（2018 年 7 月 26 日）, https://sway.office.com/KPd0mCgAmJNSI8ZV (2022.03.21 確認)
[5] 宮崎県プログラミング教育サイト，“D-2 双方向性のあるコンテンツの利用（Bluetooth を使った通信）”, https://cms.miyazaki-c.ed.jp/programming/htdocs/index.php?key=mub7hmydk-72#_72 （2021.08.13 確認：2022.06.23 現在メンテナンス中のため閲覧不能）
[6] （株）アーテック，“アーテックロボ 2.0”，https://www.artec-kk.co.jp/artecrobo2/ja/ (2022.03.21 確認)
[7] 実教出版，“情Ⅰ 703　高校情報Ⅰ Python 令和 4 年度用 新刊”, https://www.jikkyo.co.jp/book/detail/22023322 （2022.03.30 確認）
[8] 武藤浩二，松橋慶季，木村彰孝，“micro:bit を用いた文字通信のプログラミング実習装置”，日本産

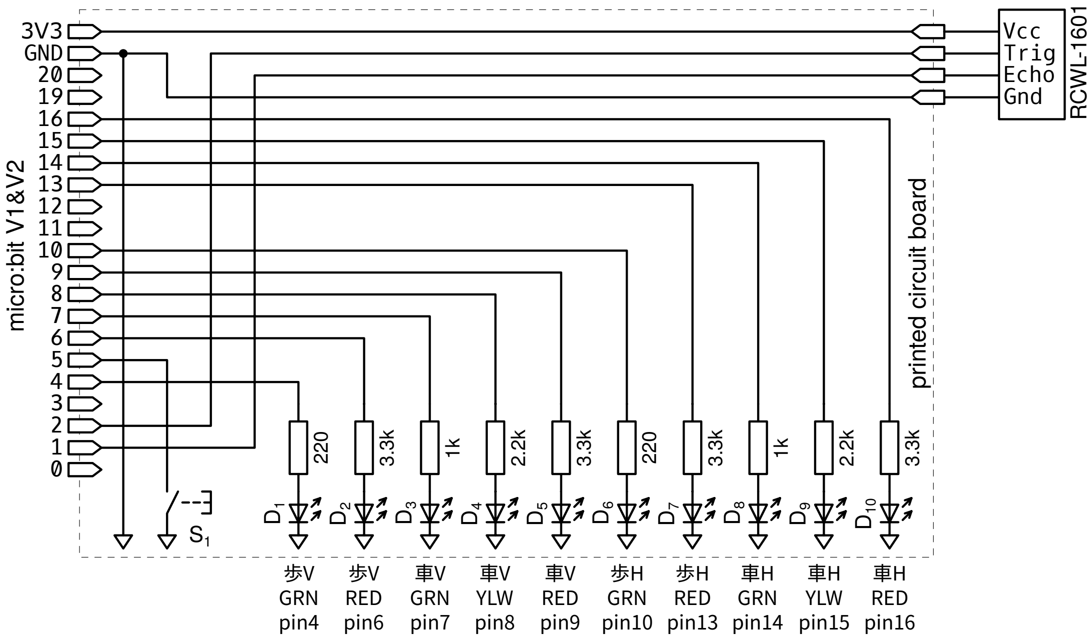

図 A1　道路交通信号プログラミング実習装置回路図

業技術教育学会 第36回情報分科会（高知）研究発表会講演論文集，pp.11–14，2021

[9] 倉元賢一，武藤浩二，木村彰孝，“シングルボードコンピュータを用いたチャットプログラムと模擬授業実践”，日本産業技術教育学会九州支部論文集，vol.29，pp.27–34，2022

[10] Adafruit Industries, “Ultrasonic Distance Sensor – 3V or 5V – HC-SR04 compatible – RCWL-1601”, https://www.adafruit.com/product/4007（2022.03.21 確認）

付録 A　実習装置回路図

実習装置の回路図を図 A1 に示す。破線内がプリント基板実装部分である。プリント基板設計データはクリエイティブ・コモンズ 表示-非営利-継承 4.0 国際ライセンス（https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/）で提供できるので，必要な方は著者に問い合わせられたい。なお，基板設計 CAD は KiCad（https://www.kicad.org/）である。

付録 B　ソースコード

車両感知式・歩行者押しボタン式信号プログラムのソースコード原案をリスト A1 に示す。プリント基板データ同様に，クリエイティブ・コモンズ 表示-非営利-継承 4.0 国際ライセンスの下で自由に利用できる。

距離測定関数 range() は，超音波エコーが返ってこない場合の処理を省略した簡易版としている。

リスト A 1　車両感知式・歩行者押しボタン式信号プログラム ソースコード原案　4.0

```
# 道路交通信号実習プログラムサンプル:押ボタン+感知式信号
# Works with the BBC micro:bit V1 & V2
# Written by Cosy MUTO, Nagasaki Univ., 19 Nov., 2021
# CC BY-NC-SA 4.0 International

from microbit import *
```

```python
import utime

# 距離測定関数:この関数は生徒には考えさせず,完成形を与える
def range():
# Trig = pin2
# Echo = pin1
    c = 343.3 # 20°Cにおける音速(近似値):c ≒ 331.3 + 0.6t
    # 0〜40°Cの範囲での測距誤差見積: +/-3.5%
    while True:
        pin2.write_digital(1) # Trig 信号送出開始
        utime.sleep_us(10) # 10μs 待つ：Trig 信号の時間幅
        pin2.write_digital(0) # Trig 信号送出終了
        while not pin1.read_digital(): # pin1 が"1"になるのを待つ
            pass
        t0 = utime.ticks_us() # 送信開始時刻 [μs]
        while pin1.read_digital(): # pin1 が"0"になるのを待つ
            pass
        t1 = utime.ticks_us() # 反射波受信時刻 [μs]
        if t1 > t0:
            break
    t_diff = (t1 - t0) * 1e-6 # 音の往復時間 [s](秒)
    d = c * t_diff / 2.0 # 距離 [m]の計算
    d = round(d * 1000, 1) # [mm]に変換,小数第 1位まで
    return d

# 超音波距離センサの車両感知しきい値
# 先に"超音波距離センサ_テストプログラム.py"でテストして決定しておく
dth = 75.0

# 初期設定:横方向(H) が青, 縦方向 (V) は赤
display.off() # micro:bit の LED マトリクスは使用しない
pin4.write_digital(0) # 歩V 青：消灯
pin7.write_digital(0) # 車V 青：消灯
pin8.write_digital(0) # 車V 黄：消灯
pin13.write_digital(0) # 歩H 赤：消灯
pin15.write_digital(0) # 車H 黄：消灯
pin16.write_digital(0) # 車H 赤：消灯
pin6.write_digital(1) # 歩V 赤：点灯
pin9.write_digital(1) # 車V 赤：点灯
pin10.write_digital(1) # 歩H 青：点灯
pin14.write_digital(1) # 車H 青：点灯
sleep(2000)

# ここからがメインルーチン:生徒に考えさせるのはここ
while True:
    # {押ボタンが押される,車がセンサ直下に来る}のを待つ
    while not (button_a.is_pressed() or range() < dth):
        pass
    sleep(1500)

    # 歩H 青を点滅
    for i in range(6):
        pin10.write_digital(0) # 歩H 青：消灯
        sleep(500)
        if i == 5:
```

```
            break
        pin10.write_digital(1) # 歩H 青：点灯
        sleep(500)

    # 歩H を赤に，車 H を黄色に（車 H は 5 秒間）
    pin13.write_digital(1) # 歩H 赤：点灯
    pin14.write_digital(0) # 車H 青：消灯
    pin15.write_digital(1) # 車H 黄：点灯
    sleep(5000)

    # 車H を赤に
    pin15.write_digital(0) # 車H 黄：消灯
    pin16.write_digital(1) # 車H 赤：点灯
    sleep(1500)

    # 歩V，車 V を青に（10 秒間）
    pin6.write_digital(0) # 歩V 赤：消灯
    pin9.write_digital(0) # 車V 赤：消灯
    pin4.write_digital(1) # 歩V 青：点灯
    pin7.write_digital(1) # 車V 青：点灯
    sleep(10000)

    # 歩V 青を点滅
    for i in range(6):
        pin4.write_digital(0) # 歩V 青：消灯
        sleep(500)
        if i == 5:
            break
        pin4.write_digital(1) # 歩V 青：点灯
        sleep(500)

    # 歩V を赤に，車 V を黄色に
    pin6.write_digital(1) # 歩V 赤：点灯
    pin7.write_digital(0) # 車V 青：消灯
    pin8.write_digital(1) # 車V 黄：点灯
    sleep(5000)

    # 車V を赤に
    pin8.write_digital(0) # 車V 黄：消灯
    pin9.write_digital(1) # 車V 赤：点灯
    sleep(1500)

    # 歩H，車 H を青に
    pin13.write_digital(0) # 歩H 赤：消灯
    pin16.write_digital(0) # 車H 赤：消灯
    pin14.write_digital(1) # 車H 青：点灯
    pin10.write_digital(1) # 歩H 青：点灯
```