

「プログラムによる計測と制御」概念形成を意識したコースカリキュラムとその評価

鎌田 敏之¹ 大村 基将² 兼宗 進²

概要：中学校技術・家庭科で必修化された「プログラムによる計測と制御」に関わる諸概念について、ハンズオン活動を通して段階的に獲得させられるコースカリキュラム設計を行い、教員養成課程学生を対象とした試行授業から得られた評価について報告する。核となる概念として、物理世界をコンピュータで扱うための電気回路、コンピュータとの入出力に必要なデータへの相互変換、プログラムによるデータ処理を置き、その下位概念として物理・数学および情報処理に関わる技術が関わりと規定した。実践授業では具体的なハンズオン活動を中心とした構成的な学習アプローチをとり、評価は授業ごとのオンラインフォームによる個別調査と実習状況の観察及び自由課題となる最終プロジェクトに含まれた要素概念と受講者のレポートの記述を総合的に分析した。その結果、ほぼ全ての受講者において核とした3概念について一定の獲得が得られるとともに、下位概念の相互の関係と理解の順序について一定の知見が得られた。

Design and Evaluation of Course Curriculum for Developing Core Concept of "Measurement and Control with Programs"

TOSHIYUKI KAMADA¹ MOTOMASA OHMURA² SUSUMU KANEMUNE²

1. はじめに

中学校技術・家庭科における必修項目である「プログラムによる計測と制御」に関して、平成20年学習指導要領改訂から平成24年の施行を経て現在に至るまで、学習に用いる小型MCUボードと市販されるセンサ類の多様化と小型化・価格低下とともに幅広い題材をテーマとする授業実践がなされてきた。これらは、文献[1]で示唆されるように、教科の目標である「生活と技術の関わりについて理解を深め、進んで生活を工夫し創造する能力と実践を育てる」[2]を踏まえ、学習者である中学生の学習レディネス及び発達段階を考慮した上で生徒に与える課題を設定し、コースカリキュラムの設計を行い、その結果、生徒が獲得すべき学習項目と達成度及び生活に対する意識の変容について調査する形の研究アプローチである。しかし、「プログラムに

による計測と制御」の背景となる技術的・工学的内容は幅広く、学習指導要領に示された「ア コンピュータを利用した計測・制御の基本的な仕組みを知ること」ひとつをとっても、正確な理解を学校の限られた時間で生徒に獲得させることは非現実的である。そこで我々は、既存の教科研究の枠組みとは異なるアプローチをとり、学習指導要領「イ 情報処理の手順を考え、簡単なプログラムを作成できること」を手段として“ア”項目に含まれる技術的・工学的内容の体系をなす諸概念を学習者自身が構成的[3]に学ぶ、すなわち教室という状況のなかで、プログラミングを手段として実世界とのインタラクションを行う人工物を作成する活動そのものを分析することで、どのような経緯をたどり理解が進んでいくのか、そのときどこに、どのような理解を阻む要因（概念の混同、錯誤など）があり、逆に理解を促進する要素として何がどの概念に働いているのかを明らかにすることこそが、この分野におけるカリキュラムの作成、教具及び教材の開発、授業における教師の働きかけ方策に対する示唆を与えることに寄与すると考えた。本報

¹ 愛知教育大学
Aichi University of Education

² 大阪電気通信大学
Osaka Electro-Communication University

告は、その端緒として、中学校技術の免許取得を目指す大学生を対象に実施した試行的授業を通し、受講生に対し随時行ったアンケート調査及び最終プロジェクトの成果から導かれる現段階での分析結果により明らかになった事柄について述べる。

2. 関連研究

「プログラムによる計測と制御」に関わる授業実践では、モータをアクチュエータとした自律型ロボットを題材とすることが一般的であり、ロボットカーを題材とし、モータ回転時間をプログラムすることによるシーケンス制御と、光センサを用いたライントレースを行うロボットカーの実現によるフィードバック制御の体験によって、目標達成とすることが多い。それに対し、加藤 [4] は生徒の生活で身近な事例として自動ドアを題材とし、レゴマインドストーム NXT を用いて、レゴブロックで組み立てたドアに対し、タッチセンサ・光センサ・超音波距離センサを生徒に与え、全体 8 時間構成のうち 5 時間を生徒の試行錯誤による現実の自動ドアに似た動作を行うプログラムの作成に充て、それぞれのセンサの役割と、自動ドア実現という目的にプログラムがどのように関わるかを考えさせる取り組みを報告している。生徒の活動や思考についての具体的な言及はなされていないものの、日常体験に含まれる技術を模型によって意識的に再現する活動は、我々の目標とする、獲得される概念の構造とその要素の関わり合いの調査分析を行う目的によく適合すると考えられる。

学習者である生徒の日常と IT との関わりから、現在「スマートホーム」と呼ばれる、コンピュータ制御される住居の模型を製作し、生徒にプログラムさせる実践が報告されている [5]。森らは 2006 年当時のレゴマインドストームである RCX を用い、防災・防犯を導入の話題とし、プログラムにより温度調節のファン回転や照明の自動点灯、車庫のロックなどを実現する「インテリジェントハウス」を生徒に構想させ、5 時間構成のうち 2 時間をこのプログラム作成に充てている。報告は安全・環境・バリアフリーに対する意識の変容を中心としてなされており、生徒が IT に対しどのような概念形成を行ったかについては明らかでないが、住居に対象を広めることで、自動ドア実践より多くの知的活動を要することが考えられ、参考となる題材である。

計測と制御を行うプログラムにおいて、A/D 変換による物理量のコンピュータが扱う数値データへの変換は欠かせない要素であるが、宮本ら [6] は、A/D 変換と量子化誤差を視覚的に理解させるための 1 時間の授業実践を構想し、実践した。製作した教具は、立てたアクリルパイプ内に下から棒で上下させるスチロール円盤を入れ、パイプ上部に設置した PSD 測距センサによりスチロール円盤との距離を計測する。パイプの後方にはビルディング断面状の構造物があり、各階に対応した位置に LED が照明として取り

付けられている。PSD 測距センサの電圧を線形化し等間隔の一定範囲以下の電圧に対応した LED を点灯させる回路により、距離というアナログ値を下から各階までの LED の点灯という離散的な表示に変換する。端的には電気式の棒グラフであるが、このことで、連続量である円盤の位置と建物の階数という離散値を視覚的に関連づけるとともに、量子化の結果には幅があり、それを量子化誤差と呼ぶことを学ぶ。視覚に強く訴えるこの教具により、量子化誤差を減らすにはというクイズに対し、天井の間隔を短くするという意図した回答を生徒全員から得ている。このアプローチは教師主体の知識注入型であり、我々の意図するアプローチとは合致しないが、中学生を対象とした A/D 変換の概念の提示に正面から取り組んだ事例として貴重な実践である。

吉田ら [7] は、将来の中学校技術領域における「プログラムによる計測と制御」と家庭領域の融合学習を目指して、ウェアラブルエレクトロニクスを取り入れたプログラミング教育環境を LilyPad Arduino と独自のプログラミング環境 PEN を組み合わせた実践に取り組み、2014 年度後期に女子大学生からなる全学共通選択科目内で実施した 5 回のプログラミング授業の最後 2 回に LilyPad を用いた LED 点滅をセンサ入力と組み合わせた課題を与え、学習者が高い達成感を得たことを報告している。プログラミング初学者への短時間での導入教育であることから、順序・分岐・反復といったプログラムの基本的な構造の習得を課題演習によって実施しており、計測と制御はその最後の応用に位置づけられるが、各段階での学習者の理解度と達成感を継続して調査する手法により、各課題に対する学習者の反応の傾向を読み取り、自由記述との照合により 5 段階評価の裏側にある学習者の学びの姿を得ることに部分的な成功を収めている。我々の研究の動機はこの報告を起点としており、計測と制御を行うプログラムの学習とは何を学ぶことであり、学習者はそこに含まれる学びの体系をどのような経路をとって認知していくのかを学習者の変容から明らかにする必要性を強く感じたことによる。

3. 方法

本研究が扱う対象は「プログラムによる計測と制御」に関する技術的・工学的諸概念全体であるが、分析は中学校技術・家庭科での実態を考慮し、この分野の初学者に対して行う。したがって、中等及び高等教育で、この分野について専門的かつ体系的な学習機会を与えられる学習者は対象としない。この理由は、学問体系として整理された知識フレームを個別の科目等、様々な機会に伝授される場合と、一般的な中学校技術・家庭科での短期間での授業とを同等に分析対象として扱うことは困難であると予測されるためである。

そこで我々は、学習者を観察し、記録やアンケート調査

によりデータを取得していくにあたり，以下の方策をとることとした．

- (1) 学習者が持つ「プログラムによる計測と制御」に対するイメージの変容に注意を払う
- (2) 授業を成立させるため，最も基本的な知識と操作の技能については一斉指導を行うが，個別の作品製作を最終的に行わせる
- (3) 学習者個々の違いに配慮しつつも，できるだけ自発的な疑問や要望を引き出すような働きかけを心がけて進めていく
- (4) 誤った理解であっても経過観察にとどめ，作品が成り立たんなど学習者の不利益への緊急対処としてのフォローにとどめる

これらの意図は，学習者の主体的態度から理解や思考を調査することを目的としながらも，医学研究で患者を見殺しにはしないのと同様，生徒の学ぶ権利や人格を侵害しないよう配慮する必要とのバランスを考慮したものである．

「プログラムによる計測と制御」に含まれる概念のうち，最も上位のものとして，計測と制御の対象となる物理的世界の法則，物理的世界とコンピュータとを結びつける電気回路の知識，コンピュータのソフトウェアから見えるデータ形式，データを処理するプログラミングの知識と技能が考えられる．これらを分解して現れる下位概念を網羅的にひとつの授業で取り扱うことはできないため，異なる設定の授業を複数繰り返して積み重ねていくこととした．

これらをもとに，本研究では，学習者は諸概念を知識習得と体験を通して学ぶことから，修得すべき概念を「スキル」，その集合を「スキルセット」と呼ぶこととする．このことで，我々の研究は，スキルセットの構造，すなわち個別のスキルとしてなにかがあり，学習にかかるコストがどの程度であるか，スキル相互にどのような関係があるかを，観察や調査から偉えるデータをもとに，認知の前後関係や包含関係を分析し，スキルセットがもつグラフ構造，あるいはクラスタ構造を見出すことと表現できる．

以上のことを前提に，研究の端緒にあたり，以下の事柄をリサーチクエスチョンとして設定することとした．

- (RQ1) コンピュータへの入力である計測と，出力である制御の，どちらのスキル獲得が容易か？
- (RQ2) 演習項目に複数の概念が含まれるとき，学習者は何を中心に理解しようとするか？
- (RQ3) 学習者が演習内容からドロップアウトするのは，どのような場合か？

これらを実践結果の解釈の中から，学習者の関心と達成感を関連付けて読み取り，認知の順序や関係に関する傾向を把握の事例とし，将来行う本調査の授業に対する指針を得ることを期待している．ただし，今回の試行実践は，電気回路とプログラミングの初学者を対象としてはいるが，大学生が対象であることから，発達段階を踏まえた結果で

はなく，この知見が中学校，高等学校での実践にそのまま有用であるかは確認できない．

4. 使用するシステム

ここで，授業実践で用いるプログラミングと計測制御のシステムについて述べる．

プログラミングを行う言語として，ドリトル [8] を用い，計測と制御のために，Arduino を選択した．Arduino はオープンソースハードウェアであるため互換基板を含めれば膨大な種類があるが，価格が安価で入手性がよく，基本的なセンサ類及びモータドライバ IC を搭載した Arduino 基板という条件を満たすものとして，「なのぼ〜ど AG」 [9] を選択した．

4.1 ののぼ〜ど AG

「なのぼ〜ど AG」は，新村とも氏が個人で製作し，改良を続けている Arduino 互換マイクロコントローラ基板である．MIT が開発した「Scratch センサーボード」 [10] が搭載する光センサ (CdS)，音センサ (エレクトリックコンデンサマイク及び増幅回路)，スライダーボリューム (可変抵抗器)，押しボタンスイッチ (タクトスイッチ) と同等のセンサに加え，DC モータ 2 個を制御するモータドライバ IC を搭載することで，プログラミング言語 Scratch が持つセンサ入力機能に LEGO 社「WeDo」対応拡張のモータ制御機能を加えた入出力ボードとなっている．頒布時には Scratch のこれらの機能に対応したプログラムが書き込まれており，Scratch からすぐ利用できる状態となっているが，Arduino 互換のブートローダーを搭載しているため，Arduino IDE を用いて任意のプログラムを書き込み，Arduino 基板として転用可能である．

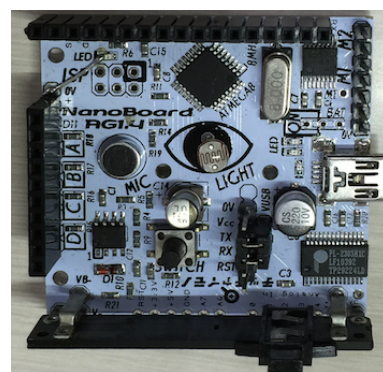


図 1 ののぼ〜ど AG

基板上のセンサはすべてアナログ入力ポートに接続されており，それぞれ，光センサが A0，音センサが A5，スライダーボリュームが A6，タクトスイッチが A7 に対応する．また，図 1 の左側にある「A〜D」の 4 端子 (8 端子が 2 端子ずつペアとなっており，向かって上側が入力ポー

ト、下側は GND に接続されている) は A1 ~ A4 に対応しており、10kΩ の抵抗によりプルアップされている。したがって、抵抗値が変化する任意のセンサをこの 4 端子に接続して利用することも可能である。図 1 右上の上から 4 端子がモータドライバのモータ接続端子であり、隣り合う 2 ペアに 2 個までの DC モータを接続して利用できる。上側は D5 と D6 の 2 つのデジタル出力からひとつの DC モータを正逆転制御でき、PWM による速度制御は D10 から行う。下側は D7 と D8 によりもうひとつの DC モータを正逆転制御でき、D9 により速度制御できる。PWM 出力は標準的な Arduino より少なく、D11 のみ利用者に開放されており、合計 3 つである。他のデジタル入出力端子は標準的な Arduino と同様、D0, D1 がハードウェアシリアルポート兼用であり、D2 ~ D13 までの合計 14 端子を持つ。D13 へのデジタル出力により、基板上の LED を点滅できる点も標準的な Arduino と同じである。

また、アナログポートに対し電圧出力するセンサを接続する場合や、異なるプルアップ抵抗値を設定したい場合は図 2 の四角で囲った部分にあるジャンパパターンをカッターナイフ等で切断することにより、「A ~ D」端子から個別にプルアップ回路を切り離すことができる。基板上に搭載されたセンサを利用せず、自由なアナログ入力端子として使いたい場合も、シルク印刷された端子名近くにあるジャンパパターンを切断する。カットした接続を復元したい場合は、パターンにハンダ等を盛り、再接続すればよい。



図 2 なのは〜ど AG 背面

本実践では、プログラミング言語「ドリトル」のシリアルポート通信機能に対応する Arduino 用スケッチを本基板に書き込みを行い、センサ及びモータドライバを搭載した Arduino として用いることとした。

4.2 ドリトル

プログラミング言語ドリトルにおける、Arduino とのシリアル通信命令はシンプルである。典型的なプログラム例として、明るさセンサの値によって基板上の LED を点灯・消灯するプログラムを図 3 に示す。

図 3 のプログラムでは、変数 light を A0 ポートからの

```
システム！"arduino"使う．
a = arduino！作る．
a！（システム！シリアルポート選択）ひらけごま．
light = a!0 アナログ入力．
led = a!13 デジタル出力．
「
  「(light！読む) < 120」！なら「
    led！0 書く」そうでなければ「
      led！1 書く」実行．
    a!0.1 待つ．
  」！1000 繰り返す．
```

図 3 暗いとき LED 消灯し明るいとき点灯する例

アナログ入力、変数 led を D13 へのデジタル出力端子と設定し、各変数に対応するポートオブジェクトを格納している。これらに対し、入力ポートであれば「読む」命令、出力ポートであれば「書く」命令により値の入出力ができる。値はアナログ値は 0 ~ 255 の整数、デジタル値は 0 または 1 である。デジタル値の 0 と 1 は電圧の L レベルと H レベルに対応し、LED では消灯と点灯に対応する。

「待つ」命令は Arduino 基板に秒単位の値でビジーウェイトを指示するものである。よって、この例では繰り返しの 0.1 秒間隔で 1000 回実行することになる。ドリトル側でタイマーにより一定間隔でポーリングをかけることもできるが、経験上、Arduino 側に入出力実行のタイミングを任せることで安定した通信が得られるため、授業ではこの記述を用いることとした。

5. カリキュラム構想と試行授業

今回、最初の試行授業を行うにあたり、愛知教育大学技術専攻 3 年生の必修授業であり、中学校技術免許「情報に関する技術」分野の実習単位である、「プログラミング実習 I」を選択した。この授業はプログラミングを当該専攻学生全員が学ぶ唯一の科目である。

5.1 カリキュラムの概要

全 15 回の授業のうち、「プログラムによる計測と制御」の内容は授業の後半に設定し、前半は従来同様、PC 画面内で動作するプログラム作成の実習とした。そのシラバス要約を表 1 に示す。

「プログラムによる計測と制御」は 8 回目以後と設定した。8 回目にマイコンボードとドリトルの連携に必要な設定を行い、主に計測、つまりセンサ入力マイコンボードを通してプログラムからどのように扱われるかを観察し、体験するとともに、中学校理科で学んでいるオームの法則を基本として、入出力ともに電圧によって行われていることを学ぶ。9 回目で制御の具体例演習する。10 回目で具体的な応用例を示し、11 回目で、12 回目以後の最終課題の構想

表 1 シラバスの要約

時限	内容
1	ドリトルの紹介、インストール
2	タートルによる描画
3	ボタンの利用
4	アニメーション
5	簡単なゲーム
6	壁反射（ピンポンゲーム）
7	シューティングゲーム
8	マイコンボードの使い方と関連する電気回路
9	LED, モータ, サーボの制御
10	ゲームコントローラーのプログラム
11	最終課題の構想
12-15	最終課題の作成

を行い、最終課題に取り組むという構成である。

5.2 実習内容と作成した教材

8 回目から 11 回目までは、用意した教材をもとに実習を進めた。本節では、各回で与えた教材の内容と演習の状況を述べる。また、最終課題に関連して、プロジェクト達成のため行った助言のうち、代表的なものについて述べる。

5.2.1 第 8 回：計測

8 回目の授業では、最初に学習レディネスを確認する目的の事前アンケートをオンラインフォームに用意し、回答させた。その後、各自が設定したマイコン基板とドリトルの組み合わせが正しく動作すること、基板上的センサの動作確認を含めて、接続されているセンサの値をすべて表示するプログラムをドリトルで作成し、配布した。学習者はこのプログラムを動かすことで、手元の各種センサがそれぞれの役割に応じて働き、ドリトルのプログラムによってコンピュータ内では数値として表現されていることをリアルタイムの値変化として視覚体験できる。ただ値を眺めるだけでなく、自らセンサに働きかけを行い、どのセンサが、どの状況で、どのような値変化を示すかを観察するよう指示した。このプログラムの画面を図 4 に示す。



図 4 計測表示画面

今回使用した「ななぼ〜ど AG」基板では、基板上的センサとポートの割り当ては固定であるが、このプログラムは汎用とし、センサ名の表示などは加えていない。したがっ

て、左側の A0～A7 までの 8 つは、ポート名・「アナログ入力」/「デジタル入力」の選択メニュー・値表示の 3 つ組となっている。選択メニューである理由は、Arduino ではアナログポートをデジタル入力にも設定できるためであるが、例えば光センサであってもデジタル入力に設定することで、0 または 1 の値になることを体験できる。右側の D0～D12 はデジタル入出力ポートに対応し、Arduino ではデジタル入出力ポートは A/D コンバータのない I/O 端子であるため、アナログ入力することはできない。したがって、ポート名と値表示の 2 つ組である。

図 4 は、A0 をデジタルに選択し、A1 をアナログに選択したときの実行状態である。A0 は光センサであるが、デジタル入力を選択しており、A1 は追加センサ用のポートであるため、フォトリフレクタを接続し、アナログ入力に設定している。灰色のポート名は計測表示の対象ではないことを表し、初期状態はすべてのポートがこの表示で静止しているが、ポート名をクリックすることで背景と文字が色つきに切り替わり、数値をリアルタイム表示しはじめる。再びポート名をクリックすると非選択の灰色に戻る。

追加のセンサとして配布した赤外線反射型フォトリフレクタモジュールについては、赤外光であるため、同じ条件でも可視光とは異なる値が計測される。偶然、肌に当てると想定外の値が出て面白いという声が出て、肌の色により違いがあるかを試したり、その他いろいろなものや身体各部に当てて値を予想し楽しむなど、よく活用された。また、フォトリフレクタはプリンタ等の紙詰まりや用紙切れの検出に使われることを伝え、驚きを示し、納得する様子も見られた。

最後に、使用した各センサの電気的な性質について説明するとともに、抵抗値変化するセンサでは、プルアップ回路について回路図とオームの法則の式を板書し、電圧分割により抵抗値の変化が電圧となってマイコン側に与えられていることを解説して終了した。

授業後に、自由記述による授業の感想文を LMS の課題機能を用いて回答させた。

5.2.2 第 9 回：制御

9 回目の授業では、内容を予告するとともに、「制御」のイメージを調査する目的の事前アンケートをオンラインフォームにより回答させた。その後、制御の実習のために、RGB フルカラー LED を配布した。ブレッドボードは学習者全員が他の授業のため購入していたため持参させ、LED と電流制限抵抗のみを配布して回路を作成させた。マイコンのポートは PWM 出力可能な D9, D10, D11 とし、内蔵される赤・緑・青 LED のアノードを抵抗を通して接続し、3 色に共通のカソードは GND に接続する。

その後、図 5 のプログラムにより、RGB 三原色を 1 秒ずつ順次点灯させたあと、アナログ出力で個別に明るさを設定すれば色が作成できることに気づかせ（色の作成は 4

```
システム！"arduino"使う．
a = arduino！作る．
a！（システム！シリアルポート選択）ひらけごま．
r = a！9 アナログ出力．
g = a！10 アナログ出力．
b = a！11 アナログ出力．

r！255 書く．a！1 待つ．r！0 書く．
g！255 書く．a！1 待つ．g！0 書く．
b！255 書く．b！1 待つ．b！0 書く．
```

図 5 フルカラー LED で RGB を順次点灯するプログラム

回目のアニメーションの授業で経験している．ドリトルには色オブジェクトに R, G, B の 8bit 整数値を引数にして任意の色を作成する機能があり、例年、アニメーションを扱う回りの自由製作に取り組む歳、色指定したいという要望が出るため、解説している、図 7 のように、スライダーを用いてドリトルの画面操作によって 0 から 255 までの範囲をマウスで設定可能なプログラム作成までを授業中に解説しつつ実演した．学習者はそれに倣って最終結果である図 6 のプログラムを入力し実行することで、マウスによるドリトル実行画面の操作により、実体物であるフルカラー LED の色変化として制御できることを体験した．

```
システム！"arduino"使う．
a = arduino！作る．
a！（システム！シリアルポート選択）ひらけごま．
r = a！9 アナログ出力．
g = a！10 アナログ出力．
b = a！11 アナログ出力．

ラベル！"赤"作る．
赤値=フィールド！作る 60 45 大きさ．
赤=スライダー！作る 0 から 255 まで 0 値．
赤：動作＝「v = (自分！値？）．赤値！（v）書く．r!((v)*1)
書く．a！0.1 待つ」．

ラベル！"緑"作る 次の行．
緑値=フィールド！作る 60 45 大きさ．
緑=スライダー！作る 0 から 255 まで 0 値．
緑：動作＝「v = (自分！値？）．緑値！（v）書く．g!((v)*1)
書く．a！0.1 待つ」．

ラベル！"青"作る 次の行．
青値=フィールド！作る 60 45 大きさ．
青=スライダー！作る 0 から 255 まで 0 値．
青：動作＝「v = (自分！値？）．青値！（v）書く．b!((v)*1)
書く．a！0.1 待つ」．
```

図 6 フルカラー LED の色制御するプログラム

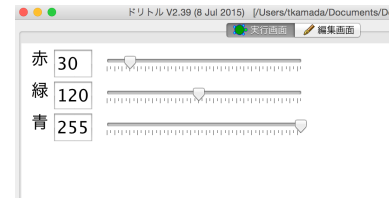


図 7 フルカラー LED の色制御実行画面

その後、モータ制御のためのプログラム（図 8）を用意し、DC モータを配布して制御できることを確認したが、時間の都合でプログラム配布と、その実行画面を操作し、画面通りにモータが動くことを体験させるにとどまった．サーボモータ制御については命令を定義してあるので最終課題に使いたい者のみ使い方の質問をするよう話すにとどまった．

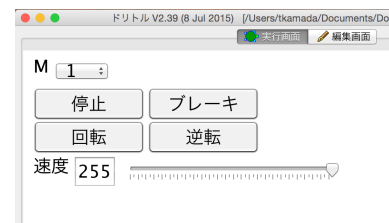


図 8 DC モータ制御画面

DC モータ制御画面のプログラムを図 9 に示す．このように、Motor.ini 側に「モーター」オブジェクトを定義し、モータドライバ IC を制御する命令を「モーター」オブジェクトのメソッドとしてラッピングしている．

最後に、制御を実習した後の意識変容をみる事後アンケートを、本時開始時の事前アンケートの問いに対応させる形でオンラインフォームにより作成し、回答させた．

5.2.3 第 10 回：ゲームコントローラ

10 回目の授業では、マイコン基板上のスライダーボリュームとタクトスイッチをゲームコントローラに見立て、6 回目のピンポンゲームと 7 回目のシューティングゲームを、ゲームコントローラの値を読み取りながら処理を進めるよう書き換える方法について、発問と応答により考えさせながら板書でプログラムを作成していき、各時入力して、ゲームとして成立するよう修正を加える演習を行った．

ピンポンゲームは、「コ」の字型の壁に対して反射して動くタートルを打ち返すために、壁の出口の位置にパドルとして太い縦棒図形を用意し、画面上のボタンクリックで上下させて壁打ちを 60 秒間続ける単純なゲームである．時間制限のためにタイマーオブジェクトを用意し、タートルの移動に使う．タイマー部分の抜粋を図 10 に示す．パドル移動は画面のボタンクリックで行うので、タイマーとは関係がない．

「なのぼ～ど AG」では、パドル操作を基板上のスライダーボリュームによって行うことになるが、ボリュームの

システム！"Motor"使う。

モーター！（システム！シリアルポート選択）ひらけごま。
モーター！初期設定。

ラベル！"M"作る。

M = 選択メニュー！作る "1" "2" 書く 80 45 大きさ。

停止ボタン = ボタン！" 停止 " 作る 次の行。

停止ボタン：動作 = 「モーター！（(M!何番目?)*1）停止」。

ブレーキボタン = ボタン！" ブレーキ " 作る。

ブレーキボタン：動作 = 「モーター！（(M!何番目?)*1）ブレーキ」。

回転ボタン = ボタン！" 回転 " 作る 次の行。

回転ボタン：動作 = 「モーター！（(M!何番目?)*1）回転」。

逆転ボタン = ボタン！" 逆転 " 作る。

逆転ボタン：動作 = 「モーター！（(M!何番目?)*1）逆転」。

ラベル！"速度"作る 次の行。

速度表示 = フィールド！"255" 作る 60 45 大きさ。

速度スライダー = スライダー！作る 0 から 255 まで 255 値。

速度スライダー：動作 = 「速度表示！（! 値?）書く。モーター！（(M!何番目?)*1）((! 値?)*1)速度。モーター！0.05 待つ」。

図 9 DC モータ制御画面のプログラム

時計 = タイマー！作る 60 時間「カメ太！20 歩く」実行。
時計！待つ。// ゲーム中ここで制御をブロックする。
// このあとゲームクリア判定して対応するメッセージを出す。

図 10 ピンポンゲームの改変部分（オリジナル）

計測値取得を前述のように繰り返し命令のなかで実行することとしたため、タイマー部分をこれと置き換える形となる。改変部分の抜粋を図 11 に示す。

このように、繰り返しのなかで取得した 0~255 の値（“(v!読む)”の部分）をボリューム中間点が画面中央となるよう 128 を減じ、画面の「コ」の字の枠内で移動するよう拡大率を掛け、パドルの原点が左下なのでボリューム中間点でパドルが画面中央に位置するよう、さらにパドル長さの半分を減じ、求めた Y 座標を使ってパドルの位置を変更する処理となる。制限時間もカウンタ変数により管理することとなる。

シューティングゲームは、ぎりぎりまで単純化したインベーダーゲーム風のものである。自機の左右移動はボタン

システム！"arduino"使う。

a = arduino！作る。

a！（システム！シリアルポート選択）ひらけごま。

v = a！6 アナログ入力。

//（中略）

時計 = 0。

「全部！（ゲームクリア==はい）（時計<600）本当！」の間「

Y = ((v!読む) - 128) * (140 / 128) - 70。

パドル！-190 (Y) 位置。カメ太！20 歩く。時計 = 時計+1。

a！0.1 待つ

」実行。

// この下でゲームクリア判定を行う。

図 11 ピンポンゲームの改変部分（改変後）

によって行う。また、シューティングゲームなので「弾を発射する」ボタンがあり、「弾」に相当するタートルを生成して上へ移動するアニメーションを加え、敵との当たり判定を行う。

「なのぼ〜ど AG」では、自機の左右移動はピンポンゲームと同じ考え方で、繰り返しのなかで取得した値を座標変換した値により行うこととなるが、「弾を発射する」処理は、画面の「発射」ボタンをクリックした際に実行される「動作」メソッドを明示的に実行すればよい。また、オリジナルのシューティングゲームにはゲーム全体に関わるタイマーなどのループ処理がない。したがって、「なのぼ〜ど AG」対応にするには、オリジナルに対し、ポート宣言等の部分を先頭に、繰り返し処理を末尾に追記するのみとなった。図 12 に、その内容を示す。

「なのぼ〜ど AG」では、タクトスイッチの値はアナログ入力として読む必要があった。そして、スイッチ回路はブルアップされているので、ボタンを押さない間の値は 255 であり、押すと値は 0 となるので、0 と等しくなった場合に「発射！動作」を実行することとなる。

5.3 最終課題

11 回目の授業で、最終課題として学習者が独自に設計する作品について構想する時間をとった。自由課題とすることで、手元にあるセンサやアクチュエータの使い方を学ぶという発想を離れ、実現したいプロジェクトを先に考え、それを実現するために計測すべき物理的対象や制御すべき対象は何になるのか、という発想へと転換させることをねらいとした。

発想を広げるための手助けとして、センサは自作してよいことを、以下の事例から示した。

```

システム！"arduino"使う．
a = arduino！作る．
a！（システム！シリアルポート選択）ひらけごま．

v = a！6 アナログ入力．
sw = a！7 アナログ入力．

//（中略）

「全部！（（カウントダウン！読む）>0）（ゲーム終了！反対）本
当！」の間「
  カメ太！（（v！読む）-128）*（300 / 128）-150 位
置．
  「（sw！読む）== 0」！なら「発射！動作」実行．
  a!0.1 待つ．
」実行．

```

図 12 シューティングゲームへの追記部分

- スイッチは既成品でなくてもよい．電気が導通すればよいのだから，アルミ фольとダンボールを材料として，動かせば電極がくっついたり離れたりするような工作すればよい．マイコンへの接続に必要なリード線は 100m 巻のリールを提供するので好きにだけ使ってよい．
- 抵抗の変化だが，人体も 7 割は水であるから電気が流れる．両手の間の抵抗値をテストで測定してみたところ，数 $M\Omega$ ほどであった．よって，マイコン基板を改造してプルアップ抵抗を $1M\Omega$ に変更すれば，人体を抵抗器として，マイコン側で値の変化が計測できる．
- 可変抵抗器の抵抗はカーボンであるから，紙に鉛筆で塗りつぶした領域の両端や途中に電極を置けば自作できる．鉛筆書きの抵抗値は高いので，やはりプルアップ抵抗を $1M\Omega$ に変更して感度を高めることで，プログラムから値の変化を検出できる．

人体など高抵抗な対象を Arduino から検出する具体例として，Arduino をベースとして開発された商品「Makey Makey」[11] のサイトを紹介し，実際に果物や粘土などに触れて音を鳴らしたり，ゲームアプリケーションの操作を行う作品のビデオを上映した．図 13 にその一部を示す．



図 13 Makey Makey 作品例 ([11] より)

当初は戸惑いを見せていた学習者も，これらの助言をした後には明るい表情を示す者が増え，「やりたいこと」を述べて「どんなセンサを使えばいいのかわかるのか」という質問を投げかけるようになった．また，「いくつ LED がつけられるか」という質問もあった．それには「デジタル出力するポートはたくさんあるので，必要なだけ LED は与えるから接続すればよい」と回答した．この質問者は，音センサが搭載されているので，音量を LED でレベルメータとして表してみたいとこのとき考えていたようである．

6. 結果

本節では，8 回目以後最終課題までの「プログラムによる計測と制御」に関わる授業について，上記の内容で実施した結果を，アンケート，自由記述，取り組み態度，提出された課題を内容を集計，分類を行った結果を示す．

6.1 事前アンケート

学習者集団の性質や学習意欲の調査するために，8 回目授業冒頭に実施した，事前アンケートよりまとめる．回答数は，履修登録者 14 名のうち，13 であった．

表 2 プログラミング学習経験の有無		
有無	数	内容
あり	2	Java 入門 科学館でのロボットプログラミング
なし	11	

表 2 に示すように，本授業受講以前にプログラミングを学んだ体験のある者は 2 名であり，残る 11 名は未経験であった．学習経験のある 2 名は，以後の回答でも自由記述に具体性があり，最終課題でも意欲的な作品制作を行った．

表 3 プログラミングの好き嫌い	
とても好き	0 (0%)
好き	8 (61.5%)
どちらでもない	4 (30.8%)
嫌い	1 (7.7%)
とても嫌い	0 (0%)

好き嫌いを 5 段階評価させた結果を表 3 に示す．両極端な回答はないが，1 名の「嫌い」がある一方で，「好き」が「どちらでもない」の 2 倍であった．「嫌い」と回答した者は以後も参加意欲が弱く，これまでの 7 回までにドロップアウトしつつあったことが伺われる．最終課題でも「やりたいことを実現する方法がわからなかった」とレポートに記述しており，結果を出すことができなかった．一方，本質問に「好き」と回答した 8 名は，これまでの実習内容に一定の手応えを感じていたと考えられる．

好きである理由について自由記述させた内容に対し，類似する表現をまとめた結果は表 4 のようになった．単語に

表 4 好きな理由の集計 (重複回答あり)

理由	数
考えたことを言葉 (指示) で表現し動かせること	7
意図どおりに動いた時の喜び	3
知識の積み重ねで作品を発展させられる	3
ゲームが好きで作ることが楽しい	2

「考えること」「実現すること」が何らかの形で全てに含まれており、作成したプログラムを実行させた結果が動作として明確に把握できるというプログラミングの特性がよく現れている。

表 5 嫌いな理由の集計 (重複回答あり)

理由	数
思った通り動かすまでの失敗の繰り返し	5
間違えたと動かないこと	4
プログラムが長くなるとわけがわからない	1
ちょっとしたことにもたくさん指示を書くこと	1
エラーの出ないバグ	1

嫌いな理由についての自由記述のまとめを表 5 に示した。表で「失敗の繰り返し」の中にも端的に「デバッグ作業」と書いたものが 2 件あった。好きな理由、嫌いな理由とも、好き嫌いの程度と無関係に回答させているため、両者を総合した解釈をするならば、苦労してデバッグした結果が報われることを「好き」と書き、だがデバッグ作業は苦痛であるから「嫌い」と書いた、と読み取ることもできる。成功した感覚の度合いが好き嫌いの尺度に反映されていることが予想される。

表 6 「計測と制御」から連想される単語の集計

単語	数
数値 データ	5
コンピュータ	3
ロボット	3
機械	2
センサ デバイス	2
記録 集計	2
測定 測る	2
CG 可視化	2
コントロール 操作	2
止める 抑制する 防御	1
電気	1
抵抗	1
数学 関数	1
入力 出力	1
実験	1
規則	1
自動	1
修正	1
バグ	1
エンジニア	1
インターネット	1
無限	1

『計測と制御』から連想される単語を自由記述させたものを、表 6 にまとめた。複数の単語が含まれる行は、1 の場合は同じ回答者が連続して書いたものであり、同じ意味の言い換えと考えたものであるが、2 以上の場合は強い関連のあると考えられる単語を別の回答者書いた場合で、値は回答者数の合計である。

これを見ると、「ロボット」や「機械」よりも「数値 データ」が多数であること、また「電気」「抵抗」「数学 関数」「入力 出力」「規則」のように、より基本的かつ的確と感じさせる単語が現れていることが興味深い。「センサ デバイス」「入力 出力」「記録 集計」も具体的な「計測と制御」実習前であることを考えれば、これらの単語が意識されていることは興味深い。

表 7 プログラムが計測と制御に使われていると思うもの

乗り物 (自動車, 電車, 飛行機) ロボット
コンロ 電子レンジ 炊飯器 照明 エアコン 湯沸かし 電子はかり 体温計
画面のついている電子機器 パソコン 携帯電話 カメラ ゲーム
自動顔認証 車両の速度違反検出
発電 原子力発電
イルミネーション

プログラムが計測と制御に使われていると思うものを自由記述させた結果の集計を表 7 に列挙した。表 6 の単語と合わせて、学習者が生活のなかで「計測と制御」と「プログラム」に関連する事柄と認識している範囲の基礎データとなりうると考えられる。今後、これらの相互の関係を描かせることで、意識されている事柄を、より明確なマッピングが得られると考えられる。

表 8 は、プログラムで測定したいものとして、センサデバイスを列挙したものに対する投票結果である。実習用マイコン基板はこの時点で見ていないため、そのバイアスのない状態である。「速度」「音量」「衝撃力」「方角、緯度経度」「色」が上位となった一方で、「明るさ」「距離」など、授業で用意しやすいものが中位にとどまった。「音量」について、音センサが実習用マイコン基板に搭載されていたが、10 回目の授業でシューティングゲームの発射ボタンのポート番号を音センサのポート番号に独自に置き換え、声や手拍子での発射を試みる者がすぐに現れたが、当初から関心を持っていたことを感じさせられる結果である。

表 9 は、プログラムで制御したいとして列挙したものに対する投票結果である。LED とモータ、そして画面内のキャラクタはゲームコントローラと考えられ、偶然ではあるが予定していた内容と合致する結果となった。

6.2 計測体験

9 回目である計測実習では、授業後に感想を自由記述させ、回収した。回答数 N は 11 であった。

表 8 プログラムで計測してみたいと思うもの

対象	数
速度	8
温度	8
音量	6
衝撃力	6
方角	5
緯度・経度	5
色	5
指のタッチ	4
明るさ	3
重さ	3
距離	3
傾き	3
電力	3
脈拍	3
血圧	3
回転数	2
風速	2
気圧	2
血糖値	2
二酸化炭素量	2
アルコール	1
湿度	0
長さ	0
その他	2 (心理状態, 時間の進み方)

表 9 プログラムで制御してみたいと思うもの

対象	数
モータ	8
ランプ (LED)	7
画面内のキャラクタ	6
ハンドル	4
室温	4
水の流量	2
カメラのシャッター	2
火加減	0
送風	0
その他	1 (ドローン)

実習で観察したのは数値のみの表示だが、センサの役割 (明るさ、音量など) を知り、センサに触れるなど自ら変化を与えることで、数値が即座に変化する様子を率直に肯定する回答を全員がしており、自分でも作ってみたいという記述が 5 件あったことから、関心を高める教材としてよく機能したことがわかった。また、センサ・基板・ソフトウェアの組み合わせに関心が沸き、センサ回路の解説を受けて理解が深まった旨を書いた回答が 3 件あった。この 3 名は最終課題でも意欲的な作品に取り組んでおり、この時点で深い理解に至っていることが推察される。

6.3 制御

10 回目となる制御実習では、授業冒頭の事前アンケート

と終了時の事後アンケートを行った。事前アンケートの回答数 N は 13 であり、事後アンケートの回答数 N は 14 であった。

8 回目、計測制御に切り替わる最初の授業冒頭の事前アンケート結果では LED 制御の希望が高かったが、10 回目授業冒頭の事前アンケートでも、LED 制御に対する期待度を 5 段階尺度で回答させた。表 10 がその結果である。

表 10 LED 制御に対する期待感

強くある	2 (15.4%)
ある	8 (61.5%)
どちらでもない	2 (15.4%)
あまりない	1 (7.7%)
全くない	0 (0%)

合計 10 名 (76.9%) が肯定の回答であった。

実習を経験する前の段階で、どのような制御をイメージしているか、具体的な照明装置の例を挙げ、投票させた結果を表 11 に示す。

表 11 LED 制御から連想されるもの

対象	数
電光掲示板 (文字など)	11
交通信号機	10
車の方向指示器	9
クリスマスイルミネーション	7
電気スタンドなどの照明	6
看板 (光が流れるなど)	5
公共の場の大型画面	4
冷蔵庫や調理器具の内部照明	3
家電や電子機器の操作ランプ	3
非常灯	1
アクセサリ類	1
その他	0

文字表示をスクロールさせること、信号機、イルミネーションなど、人を対象に注意喚起する表示に対して票が集まった。大型ディスプレイや操作パネルは制御としてあまりイメージしないという結果となった。

表 12 は、モータ制御を行うものの列挙に対して、「モータ制御」の語から連想できるかを問うた投票結果である。ロボット、自動ドア、エアコンなどは教科書でよく取り上げられる対象であるがほとんど票が入らなかった。エレベータやエスカレータを制御と結びつける票がないことも予想外であった。質問の立て方に問題があったのか、実際にこの投票が学習者の意識を反映しているのかを確認できる質問の検討が今後の課題と考えられる。

図 14 は、制御を行うプログラムに関わる考え方 (基本概念) として「電気」「プログラム」「データ」「時間」の 4 つを挙げ、それらが必要と思うかを 5 段階尺度で回答させた結果のグラフである。プログラムに関しては質問文に「ブ

表 12 モータ制御から連想されるもの

対象	数
動くおもちゃ	11
走るおもちゃ	10
自動車	9
電動アシスト自転車	7
洗濯機	4
お掃除ロボット	4
無人機（ドローン）	3
人型ロボット	1
自動ドア	1
電動車いす	1
エアコン	0
エレベータ	0
エスカレータ	0
宇宙探査・宇宙開発	0

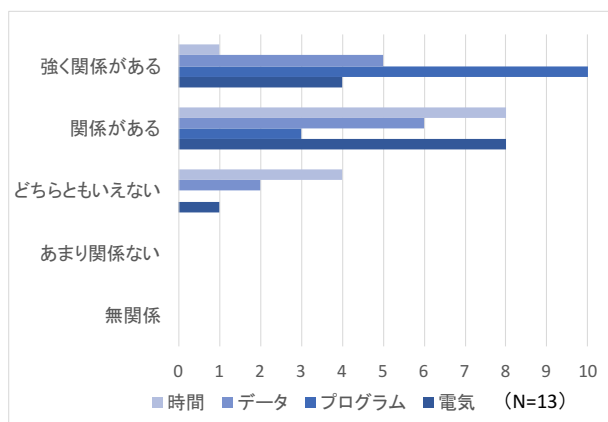


図 14 制御に必要な考え方がどうか

「プログラム」と明示しなかったものの、全員が「関係がある」または「強く関係がある」に対し回答しており、電気についてもセンサ回路の解説を 8 回目の授業で行っており、制御に対しても「関係がある」に回答が集中するのは妥当と思われる。一方、データに関しては計測実習で数値を見ているものの、「どちらともいえない」が 2 名、「強く関係がある」が 5 名とやや回答が割れ、制御に対して関係があるかどうか迷いがあることが伺える。時間に至っては初めて現れる概念のため、「どちらともいえない」が 4 名、「関係がある」が 8 名と、他の項目より弱い側にシフトして分散している。

表 14 は、表 13 に対応して、どんな技術が必要と思うかの自由記述の集計である。記述のなかに、概念に対応した回答がよく現れており、回答数はその概念を必要と考えるかの度合いを示しているように思われる。例えば、プログラムや「制御する方法」「いつ…の判定」のように、プ

表 13 自分が LED で制御したいものの集計

回答	数
LED スクリーン	3
イルミネーション	3
センサー照明	3
色や明るさの制御	2
信号機	1
筋肉に反応して光る	1

ログラムについての回答が多く、次に電気に回する回答があったことは、図 14 の結果に対応するように思われる、時間の流れという回答があるが、これはセンサー照明に対応する回答であるため、時刻と解釈すべきと考えられる。その他の回答は、既習の計測に関するものであった。このなかで気にかかるのは、LED の制御を電流で行っていると考えている回答があったことである。実習前アンケートであるため、正確な回答である必要はないが、実習とその解説から、回路は定電流であり、PWM による平均電圧で明るさの制御を行うことへの意識の変容が生じたかをみる必要があると考えられる。

表 14 実現に必要な技術（複数回答あり）

回答	数
プログラム	4
同時に複数の LED を制御する方法	3
回路	2
色や明るさを設定する電流	1
いつ明るさを変えるかの判定	1
時間の流れの測定	1
周囲の明るさの計測	1
筋電の計測	1

ここから、本節の後半は、9 回目である制御実習、つまり LED の時間による点滅と、フルカラー LED のアナログ色制御を行い、モータ回転体験を行ったあとの事後アンケート（授業終了時に回収）について述べる。回答数 N は 14 であり、事前アンケートより 1 名多い。

表 15 演習経験の評価

尺度	LED 点滅	色制御
つまらなかった	0	0
どちらかというつまらない	0	1
どちらともいえない	1	1
面白かった	8	4
とても面白かった	5	8

表 15 は、演習を経験したことに対する評価である。LED 制御についてのみ集計し、モータは制御できることの確認のみであったため、集計対象から外した。どちらの実習も満足した様子が伺える。

そこで、LED 制御演習全体の理解度を問うた。その集計結果を図 15 に示す。これも、総じてよい評価が現れてい

るが、概念別に詳しく理解度を問うと、異なる側面が見える．図 16 に集計結果を示す．

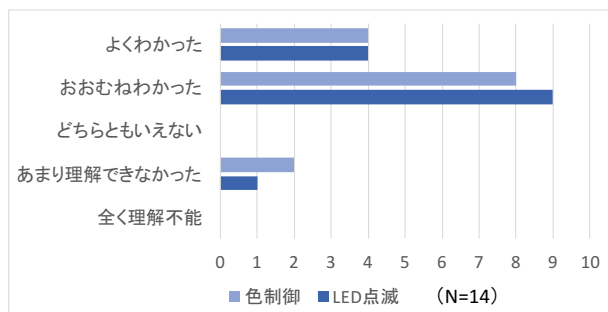
図 15 では高かった「よくわかった」の値が、理解度で見ると図 16 のように、プログラムに関してはほぼ同等の値であるが、データでは 1 へと減じ、電気と時間ではともに 0 である．データは「だいたい理解できた」に中心が移動している．また、電気と時間は「どちらともいえない」「ぼんやりとした理解」という低位が増える．ここから読み取れるのは、プログラムで LED 制御できること、制御のために数値をデータとして与える書き方は理解できたものの、電氣的な意味は自信を持って理解したと言えるほどではなく、時間という語については理解したかという質問そのものに戸惑っている状態ということであろう．

全体の感想を自由記述で回答させた内容を表 16 にまとめて示す．

表 16 LED 制御実習の全体的感想（重複あり）

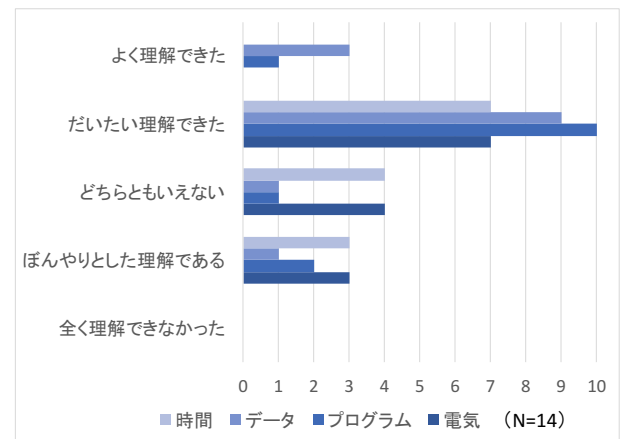
感想	数
LED の色を作れるのは面白かった	4
知らないことを学べて楽しかった	2
プログラムで制御する書き方がよくわかった	2
なんとなくわかった気はするが理解とまで言えない、難しい	2
信号機のシステムのしくみにつながると思う	1
センサーに対応して色を変えたい	1

この内容と、これまでの集計結果を総合すると、LED を点滅させる演習では、プログラムが点灯と待ち時間、消灯と待ち時間、を繰り返すだけの直感的な処理であり、プログラムと結果が 1 対 1 対応する単純な構造であること、待ち時間の指定で点滅の様子が目で見てわかることから学習できた実感を持ったが、色制御では、大きく 2 つの層に分かれており、RGB アナログ値を LED の明るさに対応して色が作られるということを数値との関係で理解した者と、現象に対する驚きから、実現可能であるということは了解



尺度	LED 点滅	色制御
よくわかった	4	4
おおむねわかった	9	8
どちらともいえない	0	0
あまり理解できなかった	1	2
全く理解不能	0	0

図 15 演習内容が理解できたか



尺度	電気	プログラム	データ	時間
よく理解できた	0	1	3	0
だいたい理解できた	7	10	9	7
どちらともいえない	4	1	1	4
ぼんやりとした理解	3	2	1	3
全く理解できなかった	0	0	0	0

図 16 概念別の理解程度の自己評価

しつつも、感覚のみで「とても面白かった」と思うにとどまっている者が混在していると思われる．

6.4 最終課題

11 回目の構想を経て、12 回～15 回目までに組み合わせた、最終課題のプロジェクトについて、テーマごとに使用したセンサとアクチュエータ、課題を達成できたかの項目をまとめたものを表 17 に示す．傾向の類似するものを集め、グループごとに罫線を引いた．

ただし、センサに「キー入力」としたのは PC のキーボードからの入力であり、厳密にはセンサではない．アクチュエータに「画面表示」としたのもドリトルの実行画面での描画であり、「音演奏」もドリトルの音楽演奏機能を用いているので、厳密にはアクチュエータではない．

最終課題でアクチュエータにモータを使用したのは 9 番の「宝物探し」のみであった．もう 1 名、構想段階では音センサによる風車回転というアイデアがあったが、プログラムの動作に苦労を重ねて断念し、4 の LED ろうそくに変更していた．全体としてフルカラー LED による色表現や明るさ表現、点滅による注意喚起を行うものが多かった．

8 番は、マインスイーパーではあるが、マウスクリックではなく、タートルをカーソルキーで移動する方法でゲームを進める、宝物の場所に到達することをゴールとした作品である．LED は色や点滅で爆弾の距離を知るほか、宝物との距離についての LED 表示も行う．タートル以外に何もない画面で LED がいろいろな色で点滅する不思議な作品である．

9 番は、画面は完全な空白である．よって、自分自身であるタートルがいまどの向きでどこにいるのかもわからないが、向きだけは、キーボード操作でタートルを回転させ

表 17 最終課題の内容と達成有無

番号	テーマ	センサ	ア ク チ ュ エータ	達成
1	水彩画に触れると音が鳴る	導電インクと人体抵抗	音演奏	
2	バナナを食べると音楽が鳴る	人体抵抗	音演奏	
3	鉛筆書きゲームコントローラ	人体抵抗	画面表示	
4	LED ろうそくを吹き消す	音センサ	フルカラー LED	×
5	距離に応じた LED 色変化	PSD 測距センサ	フルカラー LED	
6	音量に応じた LED 色変化	音センサ	フルカラー LED	
7	シューティングゲームに LED 色・点滅の視覚効果追加	キー入力	フルカラー LED	
8	マインスイーパー風, LED 視覚表現でヒント提示	キー入力	フルカラー LED	
9	宝物探し	キー入力	サーボモータ, フルカラー LED	
10	拍手に反応する画面表示	音センサ	画面表示	×
11	光センサで発射するシューティングゲーム	光センサ	画面表示	×
12	早押し	手作りタッチスイッチ	フルカラー LED	
13	バランスボード	手作りタッチスイッチ	画面表示	

ると, サーボモータが動き, 方角を書いた文字に矢印シールを向ける. 手がかりとなる宝物との距離を LED 表示する表現は, 8 番と似た発想である.

4 番は, LED をろうそく色に調整してあり, 音センサに向かって息を吹きかけると音量を計測し, 明るさを減じる関数をプログラムしている. よって, 無音になると再び明るくなるが, 息は細かく音量変化するため, 想像以上にリアルに明るさ変化が生じ, 印象に残る表現となっていた.

13 番はバランスボールを用いた体幹トレーニング器具をイメージし, ハンドボールを挟んだ板の間, 前後左右 4 箇所手作りスイッチを取り付け, ある程度傾くとスイッチが入り, 画面上のタートルがその方向に移動するという作品である.

ここで, さらに作品の傾向を詳しくみるために, 表 17 の各グループの性質, 物理世界 (フィジカル) と PC 内表現 (バーチャル) の相互関係についてまとめた結果を表 18 に示す.

演習からの発展の度合いは, 4-6 グループは計測値を光

表 18 作品のグループと物理世界との関係

番号	性質	物理世界との関係
1-3	人体抵抗の利用	物理 → 物理 (1-2), 仮想 (3)
4-6	アナログ計測値から光表現へ	物理 ↔ 物理
7-9	ゲームと物理フィードバック	物理 ↔ 物理
10-11	アナログ測定値から画面表示	物理 → 仮想
12-13	デジタル測定値の利用	物理 → 物理 (12), 仮想 (13)

表現に変換する関数をそれぞれ独自にプログラミングしている点が多い. 7-9 グループは, すべてにおいてオリジナリティが高い. 1-3 グループは, 人体抵抗という未知の性質, さらに 1 は導電インク (カーボンを含有した油性塗料) という扱いにくい素材にチャレンジしたためうまく導通しないケースが多く, テスタを用いて抵抗値を調べながら試行錯誤を数多く重ねる必要があった.

7. 議論

以上の結果から, 本施行授業を通して学習者が「プログラムによる計測と制御」の概念把握や意識をどのように変容させていったかをまとめる.

まず, 本授業における学習者は, 7 回目までのドリトルのプログラミング経験を踏まえて, プログラムについては十分意識的であり, 必要性, 一定の自信は持っていた. また, 具体的な実習前の段階で「数値」「データ」「電気」「抵抗」「関数」「入力」「出力」といった基本的な概念に属する単語を自ら述べる事ができた. 計測したいと思うもののうち, 温度や音量に対する関心が強く, 制御したいと思うものは LED による注意喚起を行う表示やゲームコントローラであった. 希望のなかでモータ制御も高かったが, それについては本授業では十分な実習ができなかったため, 以後の議論からは除外する.

リサーチクエスチョン (RQ1) の「計測と制御のどちらのスキル獲得が容易か?」について, まず考察すると, 計測画面を用いた, いろいろなセンサの数値変化を眺めることで, 計測が電気をを用いて何らかの数値データになる, ということはよく把握されていたようである. これは最終課題でも, 課題達成に至らなかった者が, ともかくセンサの値表示プログラムを書き, 実行して現れる数値に関心を持ちながらプログラムをなんとか進めようとしていた様子からも伺える. 制御に関しても, LED に限ってはいるが, 数値をプログラムから適切に与えることで発光パターンや色の変更できることについてはよく把握されていた. ただし, 理解したかという質問に対しては, 特に電気概念については事前では「強く関連がある」と思いつつも, 理解できていないという回答結果となっており, プログラムについては明確に理解できていると述べてつも, 電氣的くみや, 制御のためなぜそのデータを与えるかということについて概念形成することの困難さを当初は覚えていたとみら

れる。

しかし、最終課題では、人体抵抗や手作りスイッチというヒントを与えることにより、プロジェクトに取り込んでみて、試行錯誤しながら、抵抗変化を計測する電気回路や、スイッチ回路を実現するためのプルアップ回路の必要性を自覚し、プロジェクト達成できるところまで学びを進めることができていた。

したがって、(RQ1)については、現段階では「計測は数値データのリアルタイム変化を目にすることで、直感的理解が速やかに進むが、制御に関しては、プログラム作成の目標を持ち、自らいろいろな数値を与え、結果を見ながらデバッグを進めるトライアルアンドエラーを重ねながら、構成的に認知を拡大していく過程が必要となり、計測よりは理解に時間がかかる」という結果になると考えられる。

リサーチクエスト(RQ2)の「演習項目に複数の概念が含まれる時、学習者は何を中心に理解しようとするか?」については、最終課題達成までの取り組みの観察から、まず自信のあるプログラミングに直接関わりのある数値を媒介として、計測すべきことは何かを考えつつ電気回路をわからないなりに試行錯誤していったり、LEDをいろいろと光らせて、プログラムのどの部分に目的とする明滅パターンや明るさ、色などを制御する命令を入れていくかを試行錯誤していくようであった。データを内部的に変換することの必要性に気づくのは、その次の段階のように見られた。例えば計測値のデータが複数得られる場合の条件式の組み立てや、関数について深く考えたのは半数であり、ある程度論理的考え方や数式モデルの立て方のセンスを持つ者から徐々に教えあう形で広まっていった。現段階で言えるのは、学習者集団の性質が反映されている可能性が高く、一般化して述べることはできないが、観察の結果はこの順序であったといえる。

リサーチクエスト(RQ3)「学習者が演習内容からドロップアウトするのは、どのような場合か?」については、いくつかの様子が観察された。そもそもプログラミングに抵抗感をもつ学習者は最初から最後まで、与えられた教材を実行してみるところでさえ周囲の手助けが必要であり、挽回の余地はなかった。そうでない学習者も、センサ回路を組む際に、教材として示したことを真似することはできても、いざ最終課題のプロジェクトで電気回路を自ら目的に合わせて作成しなければならない場合には、資料を探したり周囲に相談して真似してみるなど、非常に労力をかけて克服する、もしくは似ている例を真似ることでよしとするようであった。制御実習の事後アンケートで電気回路の理解に自信がないと答えたことがそのまま反映されており、今回の実践で観察されたのは、電気回路を実現するための諸概念がドロップアウトの可能性をもつ落とし穴であったと言える。同じ制御実習の事前・事後両方のアンケートで、時間に関する問いには回答が分散していたが、LEDの発光

制御で点滅などは最終課題で難なく実現しており、調査方法を改善することで、時間に関してきちんとした評価ができる可能性があり、現段階では概念把握は比較的容易にできていたのではないかと推測される。

8. おわりに

「プログラムによる計測と制御」に関するスキルマップ作成とスキル把握の過程、難易度などの調査をはじめの端緒として、大学生を対象としたArduinoマイコンを通じた計測と制御を含むプログラム作成を行う授業カリキュラムを構想し、教材を作成し、実践を行いながら、概念把握、意識の変容を見るための調査を行った。今回はスキルに関する分析可能なデータ取得はできておらず、代表的な概念を把握する順序や設定した授業経験の範囲から、概念把握に時間のかかる要素を観測することができることはわかった。

しかし、アンケートに頼る調査方法が的確であるか、より直接的な行動や認知を測定する手段を用いるべきか、といったことを含め、調査方法や問いかけの内容の不備から、分析できない結果や解釈の困難な回答が一部あったことは、今後改善していかなければならない。

また、ひとつの事例を一般化するのではなく、多くの実践から機能的に課題を明らかにするために、より扱いやすいデータを取得することの検討を重ねながら実践を広く積み重ねていく必要がある。

参考文献

- [1] 村松浩幸：中学校技術・家庭科技術分野における情報の学習の動向：プログラムによる計測と制御学習の必修化を受けて、ICT・Education, No. 50, pp. 6-9 (2013).
- [2] 文部科学省：中学校学習指導要領解説 技術・家庭編 (2008).
- [3] 久保田賢一：構成主義が投げかける新しい教育、コンピュータ&エデュケーション, Vol. 15, pp. 12-18 (2003).
- [4] 加藤慎司：新学習指導要領におけるマインドストームNXTを用いた「計測・制御」の指導と評価、「中学校におけるロボット教育シンポジウム」実践報告, (2011), 入手先 <<http://www.mura-lab.info/kaken/2010/presen/2010-j-07.pdf>> (2015.9.5).
- [5] 森慎之介, 山本透：中学校技術・家庭科(技術分野)における融合教材「インテリジェントハウス」の開発とその評価, 日本産業技術教育学会誌, Vol. 48, No. 4, pp. 251-258 (2006).
- [6] 中学校技術科「情報に関する技術」におけるアナログ・デジタル学習用教材の開発, 日本産業技術教育学会誌, Vol. 55, No. 4, pp. 281-288 (2013).
- [7] 吉田智子, 中村亮太, 松浦敏雄：「プログラムによる計測と制御」を学ぶための学習環境の開発と教育実践～LilyPad Arduino シミュレータ機能付PENを利用して～, 研究報告コンピュータと教育(CE), 2015-CE-128(15), 1-10 (2015).
- [8] 兼宗進, 久野靖：プログラミング言語ドリトル：グラフィックスから計測・制御まで。イーテキスト研究所, 第2版 (2011).
- [9] ちっちゃいものくらぶ：なのぼ～どAG V1.4にアップデートしました (online),

- 入手先 <http://tiisai.dip.jp/?p=3562> (2015.9.10).
- [10] Picoboard - Snesor Board for MIT's Scratch (online),
入手先 <http://www.picocricket.com/picoboard.html>
(2015.9.11).
- [11] Makey Makey (online),
入手先 <http://makeymakey.com/> (2015.9.11).