

## 中学校技術・家庭科における計測制御 プログラムモデル

青木浩幸<sup>†</sup> 西ヶ谷浩史<sup>‡</sup> 鎌田敏之<sup>††</sup>  
原久太郎<sup>‡‡</sup> 李元揆<sup>†</sup> 紅林秀治<sup>†††</sup>

今年発表され、2012年から実施される新しい学習指導要領では、中学校の技術・家庭科においてプログラミングによる計測・制御学習が必修になる。しかし現場では適した教材や実践例不足が問題となっており、計測・制御学習の目的と方法についての研究を進める必要がある。本研究では、既存の教材のプログラミングモデルを分析し、中学校の計測・制御学習に適したモデルに基づいて、計測・制御のシミュレーションプログラミングから始め、実機実習に移行する学習方法を提案する。

## The Model of Measurement and Control Program for Industrial Arts and Homemaking Class in Junior High School

HIROYUKI AOKI<sup>†</sup> NISHIGAYA HIROFUMI<sup>‡</sup> TOSHIYUKI KAMADA<sup>††</sup>  
KYUTARO HARA<sup>‡‡</sup> WONGYU LEE<sup>†</sup> SHUJI KUREBAYASHI<sup>†††</sup>

The new curriculum is revised and will be put into operation in 2012. Learning measurement and control through programming activity will become compulsory for junior high school subject, industrial arts and homemaking. But because of the lack of suitable teaching materials and examples of practice, the purpose and teaching methods of them should be investigated. In this research, we analyzed existing teaching materials and proposed a program model which is suitable for junior high school class of measurement and control. With the program model, we proposed a teaching method which starts with simulation programming and continues to the real machine practice.

### 1. はじめに

新しい指導要領[3]が発表され、2012年から中学校の技術・家庭科の「プログラムによる計測制御」が必修になることが決まった。これまで選択単元扱いであった計測・制御は、実態として選択率は低く、2002年の青森県の全県調査 [1] ではプログラミングのみの学習で 32%、計測・制御まででは 15%であり、他県も 10、20%台の実施状況とみられる。計測・制御が選択されない理由として、時間数の問題と適切な教材がないことが挙げられている[2]。

新しい指導要領への対応、必修化による普及にあたって、中学校で求められる計測・制御とは何なのか、今こそ研究を進め、明らかにしていかなければならない時期である。

学習者が作るプログラムは、取り組む計測・制御の題材、使用する機器やプログラミング言語が提供している機能によって、典型的なプログラムの流れ（パターン）がある。それは制約であったり、選択できるものであったりするが、指導者は教材が持っている「プログラムモデル」を理解しておくことがプログラミングの指導上不可欠である。

本研究では、既存の教材のプログラムモデルを分析するなかで、新学習指導要領の内容に適したプログラムモデルを考察し、そのモデルを反映した計測・制御の学習展開例を示し、計測・制御モデルに基づいたプログラミングを導入するための、計測・制御シミュレーション教材を提案する。実機による計測・制御が最終的な目的であるが、シミュレーション教材で同一のプログラムモデルを用いることで連携できるようにしたことが特徴である。

市販されている計測・制御機器、ロボットにはいろいろなものがあるが、分析・考察にあたって今回対象とするのは、2章で考察するような中学校の計測・制御の学習に利用できる、原理の単純なものである。一般的な学校で購入可能なものとして、1セット3万円を超える高価なものは含めない。

<sup>†</sup> 高麗大学

Korea University

<sup>‡</sup> 静岡大学附属島田中学校

Shimada Junior High School Affiliated with Shizuoka University

<sup>††</sup> 愛知教育大学

Aichi University of Education

<sup>‡‡</sup> イーテキスト研究所

eText Laboratory

<sup>†††</sup> 静岡大学

Shizuoka University

## 2. プログラムによる計測・制御の内容

### 2.1 変わる指導要領

今年3月に発表された新学習指導要領では中学校技術・家庭科の計測・制御の内容は以下のように示されている[3] (技術分野 D 情報に関する技術)。

(3) プログラムによる計測・制御について、次の事項を指導する。

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。

イ 情報処理の手順を考え、簡単なプログラムが作成できること。

前指導要領の「プログラムと計測・制御」という表現が「プログラムによる計測・制御」に変わり、プログラムと計測・制御が並列ではなく、プログラムは計測・制御のために行うという関係が強調された。一方、前指導要領で「コンピュータを使った制御をおこなう」と書かれていた表現は、「基本的な仕組みを知ること」と弱められており、必ずしも実際にプログラムを実行しなくてもよいように解釈できる。これは機材や設備などが整っていない学校に配慮したものと考えられるが、プログラムの作成体験だけでは学習者が自己評価をできず、学習効果を上げるのは困難であるため、何らかの形で実行することが必須だろう。

### 2.2 プログラムによる計測・制御を学ぶ意味

情報社会のコンピュータと人との関わりにおいては、新しい技術が次々と提供されるにつれ、技術を使うだけの受け身的な態度が蔓延しがちである。その点、技術・家庭科は「よりよい社会を築くために、技術を適切に評価することや進んで生活を工夫し創造すること」が目標として挙げられている。また、職業選択の手掛かりになることも触れられているが、情報技術が社会を変えることができる例を示すことで、将来の情報社会を支える人材を確保する意味もある。

教科の意味を考えると、プログラムによる計測・制御の学習は、単なるアルゴリズム的思考力育成の時間であってはならない。世の中に役立つ技術の仕組み、そしてそのような技術を作り出すことの楽しさを経験させなくてはならない。

また計測・制御は、アナログ情報とデジタル情報の関連を扱う、低レベルの処理であることも特徴である。コンピュータの原理を知る上で、単純なモデルで学ぶことは効果的である。現在高機能なコンピュータが身の回りにあふれ、コンピュータは万能であるかのように感じがちであり、原始的部分を学べることは貴重な機会となっている。

人間は簡単に白い色と黒い色を見分けられる。しかしこれは実際には周囲の明るさの補正からの高度な処理の結果であり、実際にセンサで明るさを図ってみると、同じ白でも昼や夜、照明の具合で大きく異なり、機械がそのまま処理できるものではない。

人間が真っ直ぐに歩くことができるのも、さまざまな補正が働いてのことである。高精度でないモータで作られた移動ロボットは真っ直ぐに進むことが当たり前ではない。実際の世の中は、人間が感じているほど簡単ではなく、そのあいまいさ、不確実さの中から、願った結果を得るために、情報を処理して問題解決するのが、計測・制御の学習といえるだろう。紅林[4]は、計測・制御の取り組みから小学生の子どもたちは機械の事故は設計や技術が十分でないため起こることが学べ、安全対策の必要性を学ぶことができるとしている。

一方、コンピュータ画面上でロボットを迷路から脱出させるというロボットシミュレーション活動が提案されている[5]。そのような計測・制御の学習が果たすべき役割がなければ実質パズルにしかならない。

### 2.3 計測・制御学習の題材

計測・制御の題材は教科書に実習例が載っているとともに、教材会社からも製品が販売されている。学会発表や中学校教員の研修報告も多数見ることができる。

「温室の温度調節」(東京書籍)は、センサを使って温度が低ければヒータで加熱を、高ければ冷却用ファンで冷たい空気を取り入れて冷却するしくみで、計測により一定の状態を保つ制御として分かりやすい題材である。しかしこのシステムを実際に作ることを考えると、100Vの電気を制御する危険性と、製作時間、コストの問題から現実的ではない。

移動ロボットは、教材会社が開発する教材で大部分を占めるものである。これは、「エネルギー変換」の実習と結びつけて学習時間が確保できること、プログラミングの結果が動作としてあらわれ、その成否が感覚的に分かりやすいという利点がある。複数のロボットでアルゴリズムを競い合うという競技大会の設定も容易である。

一方、移動ロボットではないものとして、クリケットという IO モジュールを用いたインタラクティブな動くアートを作る活動がある。これは男子に人気のある移動ロボットに対し、男女の違いなく子どもに受け入れられるとも言われる[7]。

しかし、これまで考えてきた計測・制御の学習の意味を振り返ると、単に楽しい・思考力を鍛えるという活動では不十分である。また、勝敗によって評価される競技や、美しさや面白さで評価されるアートは、技

術・家庭科の目標と合致しない。

中学校教員の上田の実践に、生徒の生活に身近な環境や福祉の視点を取り入れた「簡単な計測・制御の創造」を目指したものがあ[6]。これは、「ドアの開閉でランプを点灯・消灯させる」「洗濯かごを昇降させる」「周囲の明暗によってカーテンを開閉する」といった生徒のアイデアをもとに模型を作り、その模型をプログラムによって計測・制御をするというものである。自分たちの生活に役に立つものを考え、模擬的に実現するという経験は、技術・家庭科の目標に合致している。また、人にやさしい・環境にやさしいという観点が評価基準であることや、様々な発想が可能で高度な思考力を要求しないため、多くの生徒が各自の発想を生かして取り組めることが期待できる。このような視点が「新しい計測・制御」には必要である。

### 3. 計測・制御プログラムのモデル

これまでの教材で用いられてきたプログラムモデルを分析し、その中から「新しい計測・制御学習」のために求められるプログラムモデルを検討する。

#### 3.1 シーケンス制御のモデル

「移動ロボット」のプログラムは、シーケンス制御のプログラムであった。これには以下の3つのモデルが見られる。

##### (1) 逐次指令モデル

このモデルは、継続的に指令を送ることによって動作する図1のようなモデルである。これは、歩くという動作を継続しなければ止まってしまう人間の動作に似ており、学習者が共感しやすい。コンピュータの立場になって図形を描く「タートルグラフィックス」と同様の考え方である。

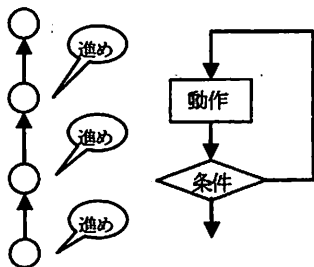


図1 逐次指令モデル

多くの移動ロボット教材で採用されている。特に、あらかじめ決められた迷路を手順に従って脱出するようなプログラムで用いられる。位置情報をプログラムすることで、センサを使わずに問題を解決することが

できるが、アナログ世界の不確実性や、電池の電圧低下などで、毎回同じ結果が得られるわけではなく、その度その度に修正が必要であり、応用が利きにくいという問題もある。

単純な処理系の教材の場合、一つの命令の実行中に別なことができないことによる条件判断の性能低下や、命令ごとに無駄な停止操作が実行される問題がある。そのため、複数のスレッドが動くようにしたり、割り込みの概念を用いたり、停止操作を省略したりして問題を回避している処理系があるが、初心者にはどのような動作が起こるか予想が難しくなることも起こりえる。

##### (2) 動作切り替えモデル

家の電灯のように、スイッチを入れたら、消す操作をするまで点き続けるのと同じ概念である。これを「動作切り替えモデル」と呼ぶことにする(図2)。

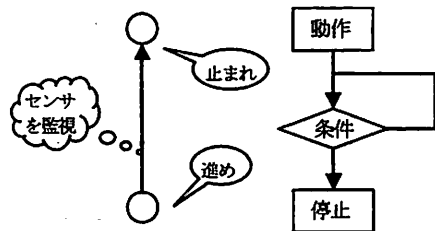


図2 動作切り替えモデル

何秒間前進する、壁にぶつかったら方向を変えるなどの条件を用いたプログラムになる。複雑な仕組みなしに、移動しながらプロセッサは条件判断に集中できるので、最大の性能を生かせる。

逐次指令モデルと違って、動作を止めたいときは明示的に止めることを指示する必要がある。一般にエラーが発生した場合や、プログラムが最後に到達した時は、動作をすべて停止するようになっているので、ロボットが意味なく動き続けるということはない。

逐次指令モデルより低レベルな操作ともいえ、逐次指令モデルの命令を動作切り替えモデル命令に分解できる処理系もある。低レベルゆえに記述量が多くなりやすいが、一定時間待つ命令や条件を満たすまで待つ命令を導入して簡潔に記述できるようにした処理系がある。

##### (3) イベント駆動モデル

センサが多くなると、たくさんの判断をしなければならなくなり、手続き的なプログラムでは記述が複雑になってくる。そこで、条件判断を羅列して並列的に記述できるようにした処理系がある。

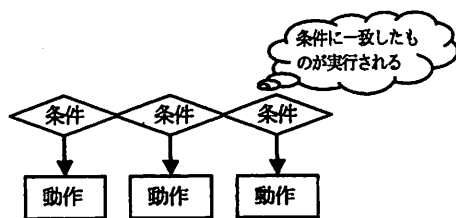


図3 イベント駆動モデル

このような処理系では、マルチタスクを実現している場合が多い。複数のイベントが同時に発生したときの優先順位の理解や、他のスレッドを止めたり、条件と動作の組み合わせを丸ごと入れ替えたりする仕組みが必要となる場合もある。

並列的な記述ができない処理系でも、条件分岐によるイベント処理をループさせれば同様のことは可能であるが、マルチタスクまでは実現できない。

市販されている教材をシーケンス制御のモデルに分類すると表1のようになる。

表1 教材のシーケンス制御モデル

| 教材                        | プログラミング形態        | (1) 逐次指令 | (2) 動作切替 | (3) イベント駆動 |
|---------------------------|------------------|----------|----------|------------|
| 山崎自律制御ロボ                  | 流れ図              | ○        | ×        | ×          |
| キューブカート2                  | アイコン             | ○        | ×        | ×          |
| KIROBO                    | アイコン             | ×        | ○        | △1         |
| ワンダーボーグ                   | アイコン             | ○        | ×        | ○          |
| MYU ロボ                    | テキスト             | △2       | ○        | △1         |
| LMS <sup>TM</sup> ROBOLAB | アイコン             | ×        | ○        | ○          |
| LMS <sup>TM</sup> RCXコード  | タイル <sup>※</sup> | ○        | ○        | ○          |
| LMS <sup>TM</sup> NQC     | テキスト             | △3       | ○        | ○          |

※LMS-LEGO MINDSTORM(RIS2.0)

※タイル=文字で命令が表記されているビジュアルプログラミング

△1 自分でイベント処理ループを作ること可能

△2 動作中に動作終了しない

△3 自分で命令を定義すること可能

### 3.2 フィードバック制御のモデル

フィードバック制御は、ある状態を維持するために、センサによる測定値によって制御を行う。これには2つのモデルが見られる。

#### (1) 単純選択のモデル

単純に、センサの測定値によって、動作を切り替えるものである。アナログ値の場合、条件を細かく設定することで、それぞれに応じた動作を設定することもできる。

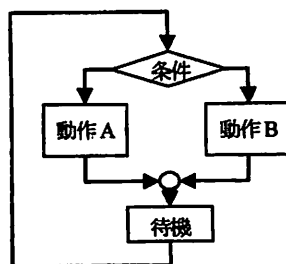


図4 単純選択のモデル

シンプルで条件分岐の理解がしやすいモデルであるが、このモデルはプログラムに依らずとも電気回路のみで構成できてしまう場合が多い。動作が複雑である場合や、動的に条件判断のしきい値を変えるような機能を持たせることで意義を持たせることができる。

また、同じ条件に続けて一致する場合は、点いているスイッチをさらに点けようとするような、動作の重複が起こる。重複が起っても問題ない題材を選ぶ必要がある。逆に言えば、一回一回動作が完結するシーケンス制御の「逐次指令モデル」と親和性が高い。

#### (2) 状態遷移のモデル

普通人間は、点いている場合は消す条件のみを意識、消えている場合は点ける状態だけを意識する。このような状態が移り変わることを状態遷移といい、その考え方を反映したモデルである。状態ごとにことなる条件や動作ができるモデルである。

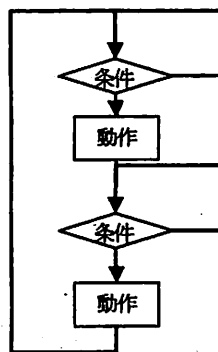


図5 状態遷移のモデル

単純なしきい値による判断のみでなく、進行状態を反映した、知的な操作を設定することができるようになる。単純選択のように同じ動作を重複して行なわれるようなこともない。

この状態の遷移を判断する条件は待機命令で済むた

め、条件分岐を学ばなくてもプログラム可能である。逆に言えば、条件分岐を学ぶ機会が失われる可能性がある。

### 3.3 計測・制御学習に適したモデルの考察

紅林[8]、西ヶ谷[9]の実践ではまずプログラミングを習得するのに定評があるタートルグラフィックスでプログラミングによるお絵描き体験した後、それと似た逐次指令モデルでロボットを動かし、ロボット導入時におけるプログラミングの障害を抑えることができた。

ただし、逐次指令モデルでは「手順に従って制御する」印象が強く、センサを用いた判断を行う「計測による制御」の学習には結びつきにくい問題が見られた。西ヶ谷の実践では、センサを教えたのに、最後の自由課題で実際に使われたのは55%という結果であった。

計測・制御の基本的原理を学ばせようとしたとき、動作切り替えモデルの方が適していると言える。しかし、ロボットに仕事をさせて課題を解決させようとしたとき、動作切り替えモデルでは低レベルすぎる。すなわち、どのモデルを採用するかは「計測・制御の基本的仕組みの理解」を目的とするか、「プログラミングによる思考力育成」を目的とするかという、授業設計上の方針を反映する。

本研究では、プログラミング初心者である中学生には、パズルではない計測・制御を目指している。発想自体に（「人にやさしく環境にやさしい」かなど）問題解決の主体があり、計測・制御自体は簡単でいいとすれば、計測・制御を本質的に学べる動作切り替えモデルが適している。

また、自由な発想によってさまざまな機能を持った計測・制御機器が作られるとすれば、それは、移動ロボットのような一本筋のプログラムではなく、イベント駆動モデルの利用が適している。

これらのことから考えると、現存する教材では、KIROBO、MYU ロボを利用することができる。とくに KIROBO は上田の実践に用いられていた教材であった。LEGO MINDSTORMS も理想的ではあるが、新製品への移行に伴い2009年でサポートが終了する。

### 3.4 その他のプログラムの要素

計測・制御プログラムにおいて、アナログ値の計測を処理する際には変数の利用の場面が生じる。

一般に高級な逐次指令モデルの環境では回数指定の繰り返し機能があり、変数を使わずに簡単に反復プログラムを書ける。それは簡単に反復を用いられる利点があったが、逆に、変数という概念を学習する機会を奪っていた。反復を実現するのに、現在が何回目であるかを記憶しておくのは必然であり、その値を利用し

たいときも出てくる。はじめから FOR 文のようなカウンタ変数を用いた反復を使用させることが、計測・制御全般を見た場合に有効だろう。

## 4. 計測・制御シミュレーションの提案

計測・制御のプログラムは、移動型がほとんどの現状ではマイクロコントローラの中で実行されるが、これは初めてプログラムを学ぶ生徒にとって、プログラムの動作を理解するのに困難があった。

西ヶ谷の実践は、タートルグラフィックスの活動により事前にコンピュータがどのようにプログラムを処理するかを、コンピュータ画面上の試行錯誤により学ばせていた。これが高い効果を上げることができていたと考えられる。

プログラムモデルを変えたとすると、タートルグラフィックスの活動は使えないことになる。そこで、その代わりとなる「動作切り替えモデル」によるプログラミング学習活動が必要と考えた。

「動作切り替えモデル」で最も適しているのは、計測・制御をそのまま、シミュレーションとしてコンピュータ画面上で行うことである。

教科書には「温室の温度調節」のような計測・制御の理解に適していながら実習が難しい題材が掲載されていたが、シミュレーションなら実習することができる。このような学習により、プログラムの仕組みを理解した上で、実際の機器を用いたプログラミングに移行するようにすれば、タートルグラフィックスと同様の効果が期待できる。

図6はエレベータのシミュレーションの画面である。モータによりかごが昇降し、かごに取り付けられた反射板(白い四角)をセンサがとらえ入力値として返す。

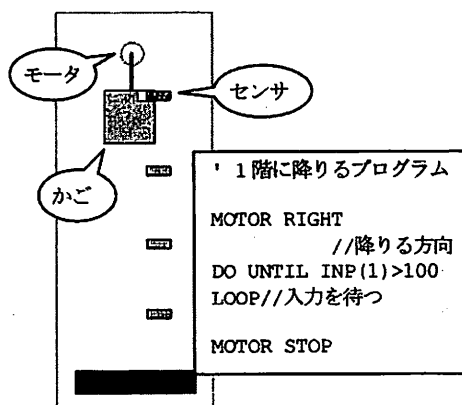


図6 エレベータのシミュレーション

例としてエレベータを取り上げたが、センサ、アクチュエータ等の配置を変えることで、別なシミュレーションを構成することもできる。導入活動では、教師が与えたテーマで皆が同じプログラミングに取り組む。

シミュレーションだけでは学習できない、あいまいな現実の処理を理解するために、実際の機器を使った計測・制御実習に移る(図7)。

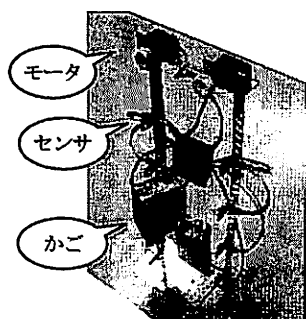


図7 実際のエレベータ制御模型

ここからは生徒は、自分で発想した計測・制御装置を作ることに取り組みばよい。自分が発想した装置がうまく動かない時は、シミュレーション上に同じ装置を作って、プログラムの動作を確認してみることもできる。

## 5. まとめ

プログラミングを教育に用いる目的に思考力育成が思い浮かぶが、プログラミングを思考の道具にできるのは、プログラミング上級者だからこそである。中学校における必修のプログラミングでは、もっと自由な発想で、「役に立つ」ことで評価がされるプログラミング活動を設定するべきではないだろうか。

本研究では、中学校技術・家庭科の「新しい計測・技術」の学習を追求する中で、どのようなプログラムモデルを用いていけばいいのかを検討し、そのモデルを生かすための授業の流れを提案した。

高等学校では教科情報が設置されたことから、情報処理学会でもその内容について知られるようになったが、中学校における情報教育については、未だ十分に検討されているとは言えない。本発表が中学校での情報教育を担う技術・家庭科と、教材の現状についての理解を助けることを願うものである。

## 参考文献

- [1] 大谷良光, 工藤崇弘: 1998 年版学習指導要領の全面実施下における青森県内中学校技術科のカリキュラム調査研究, 弘前大学教育学部紀要第 91 号, pp.51-58, 2004.
- [2] 川原久幸: コンピュータプログラム学習を通して学ぶ問題解決学習の在り方 -学習用コンテンツの作成とその活用方法-, H18 研修生報告書, 香川県教育情報データベース, 2007.
- [3] 文部科学省: 中学校学習指導要領 第 2 章 各教科 第 8 節 技術・家庭, 2008.  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/youryou/dnu/gika.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/dnu/gika.htm)
- [4] 紅林秀治, 兼宗進: 制御プログラミング学習の効果について—小学校の実践から—, 情報処理学会研究会報告, CE87, pp.1-8, 2007.
- [5] 永野和男: プログラミングを通して学ぶ「論理的な思考力と問題解決能力」, 教育情報サイト キューブランド Web, 2005.  
<http://www.cubeland.net/jirei.htm/500016/>
- [6] Caroline McCarthy, Invention kit takes tech design to kids, CNET News.com, 2006.  
[http://news.cnet.com/invention-kit-takes-tech-design-to-kids/2100-11398\\_3-6110347.html](http://news.cnet.com/invention-kit-takes-tech-design-to-kids/2100-11398_3-6110347.html)
- [7] 今村裕一郎: 学びをひろげ, 豊かな『生き方』をめざす技術・家庭科教育へ人にやさしく, 環境にやさしい生活に役立つ簡単な計測・制御の創造へ, 八代技術教育研究会, 情報に関する技術, 計測・制御, 2007.  
<http://e.yatsushiro.jp/gika/fyohou.html>
- [8] 紅林秀治, 兼宗進, 青木浩幸, 鎌田敏之: 自律型 3 軸制御ロボット教材を用いた授業実践, 情報処理学会研究会報告, CE88, pp.111-118, 2007.
- [9] Hiroyuki Aoki, Hiroshi Nishigaya, Shuji Kurebayashi, WonGyu Lee, The Implication of Robot Programming Classes Promoting Structured Thinking Reveals Their Difficulties and Remedies, Proceedings of the KACE and the KAIE winter conference, Korean association of computer education, Vol.12, No.1, pp.105-110, 2008 (韓国語).