

計測・制御の効果的な学習指導方法の開発

－ ライントレースと二足歩行制御の学習が可能となる教材と指導方法の開発 －

葉山泰三

(奈良教育大学附属中学校)

谷口義昭

(奈良教育大学 技術科教育講座)

Development of the educational method which can do programming learning effectively:

Development of teaching materials and teaching methods enabling learning that controls line tracing robot and bipedal walking robot

Taizo HAYAMA

(Nara University of Education Junior High School)

Yoshiaki TANIGUCHI

(Department of Technological Education, Nara University of Education)

要旨： 中学校技術・家庭技術分野の「情報に関する技術」の内容における「計測・制御学習」を効果的に進める教材と指導方法の開発を行った。従来はラインレース型ロボットと二足歩行型ロボットは別々の教材を用いていたが、本研究は機体を構成するブロックとモータの一部を組み変えることで、短時間で容易にラインレース型ロボットから二足歩行型ロボットに変形できる教材を開発した。また、本実践研究で用いたロボット教材の二足歩行を制御するプログラムを効果的に学習できる指導方法を併せて考案した。開発した教材と指導方法を用いて実践研究を行い、その教育効果を検証した。その結果、本研究で開発した教材と指導方法を用いると、プログラミング学習を効率よく行えることが明らかになった。

キーワード： ライントレース型ロボット Line tracing robot
二足歩行型ロボット Biped walking robot
プログラミング教育 Programming education

1. はじめに

人工知能 AI などの最新技術の開発が加速的に進む現代社会において、次世代を担う優秀な人材育成を目指し、世界の多くの国でプログラミング教育が推進されるようになった。日本でも学習指導要領の改訂に伴い2020年より小学校でのプログラミング教育が必修化される¹⁾。併せて、中学校、高等学校でのプログラミング教育も、現状の学習内容より発展させていく方針も示された²⁾。

中学校技術・家庭「情報に関する技術」分野においては、計測・制御に関する学習項目があり、既にプログラミング教育が行われている。しかし、実際の教育現場においては、計測・制御教育を実施する上で必要となる機材・教材を購入する予算の確保が難しい上に、指導者の育成も不足しており、プログラミング教育を十分に実施できていない現状も多々見られる。加えて、技術科教育に配当されている授業時間数は少ないため、プログラミングについて深く学習することも難しい。しかし、将来

的には小学校で既習のプログラミング学習を中学校でより発展させる学習が求められ、プログラミング学習の小中連携も重要になってくると予想される。

このような日本国内の教育情勢の中、奈良教育大学附属中学校の技術科教育においては、2010年から「情報に関する技術」の実践に力を入れ、その先導的な研究に取り組んできた^{3) 4) 5) 6)}。具体的には、基本的なラインレース型の教材を活用したプログラミング教育、サーボモータの制御を用いた実践、さらに発展的な学習である二足歩行型ロボットの制御の実践へと展開してきた。

本研究では、中学校技術科の学習におけるプログラミング教育のより効果的な教材と指導方法の開発を目指し、今まで単独で展開してきたラインレース型と二足歩行型ロボットの学習を、基礎から発展まで連続学習できる2つのロボットを組み合わせ新たな教材とその指導方法の開発を行い、教育効果を検証した。

2. 教材開発

2. 1. 既存のロボット教材の課題

2015年までの実践研究においては、センサを活用した学習内容（ライントレース型ロボット使用）と、サーボモータを活用した学習内容（二足歩行型ロボット使用）には、形状が全く異なる2種類のロボットを用いていた。

この授業での大きな課題は、ロボット教材をライントレース型から二足歩行型に作り変える授業準備の際に、膨大な時間を要することであった。具体的には、1台のロボットを作り変えるのに30分以上もの作業時間を要し、授業で使用する20台のロボットを、授業担当教員が一人で全て作り変えると、合計10時間が必要であった。

そこでこの問題を解決するために、ライントレース型から二足歩行型のロボットに作り変える際、出来るだけ簡単かつ短時間で行うことが可能なロボット教材の開発を検討した。

2. 2. 開発した変形するロボット教材

教材開発のベースとなるロボットは、株式会社アーテックのロボット教材を用いた。この教材は、形状が自在に組み合わせ可能なプラスチック製ブロックと、動作機能を制御する小型コンピュータ部を搭載している。動力機構であるDCモータ、サーボモータと、位置を計測する赤外線フォトリフレクタなどのセンサを組み合わせて計測・制御技術を学習することが可能である。使用したソフトウェアは、マサチューセッツ工科大学で教育用に開発されたプログラミング言語Scratchをベースとして、株式会社アーテックで開発されたStuduinoであった。

本研究のロボット教材（ライントレース型から二足歩行型へのロボットに変形する教材）の形状、機能、変形方法について以下に述べる。

(1) ライントレース型ロボットの形状

変形するロボット教材の最初の形状は、ライントレース型である。このロボットは、二足歩行型ロボットの機構をベースにして形状を変形させ、その上でDCモータと赤外線フォトリフレクタを組み合わせた特別ユニットを取り付けた。開発したロボット教材を図1に示す。

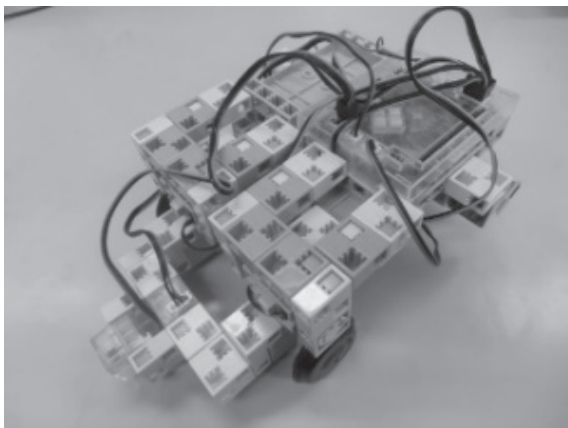


図1 ライントレース型ロボットの形状

ライントレース型ロボットは、ロボット前方に赤外線フォトリフレクタを2個搭載しており、床面のラインとロボット正面の物体を感知することが出来る。このため、ロボットをライントレースさせたり、障害物の手前で停止させたりする計測・制御の学習が可能となっている。

(2) 変形作業

① DCモータとセンサを組み合わせた走行用ユニットの取り外し作業行程

ライントレース型から二足歩行型にロボットを変形させるには、2段階の作業が必要になった。その第1段階の作業において、まずDCモータとセンサを組み合わせた特別ユニットを取り外す。取り外した状態を図2に示す。この特別ユニットの取り外し作業は容易であり、制御基盤に連結した配線コードを取り外す作業を含めても約10秒で完了した。

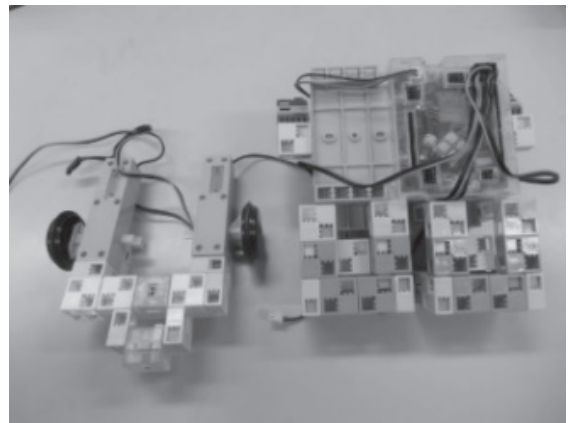


図2 DCモータとセンサを一緒にした特別ユニットを取り外した状態

② 二足歩行型ロボットの足部分のパーツを変形させる作業行程

次に、ロボットの足部分のパーツを変形させて、ロボットが二足で歩行できる形状にした。変形させている様子を図3に示す。この作業も容易であり、作業時間は5秒程度である。

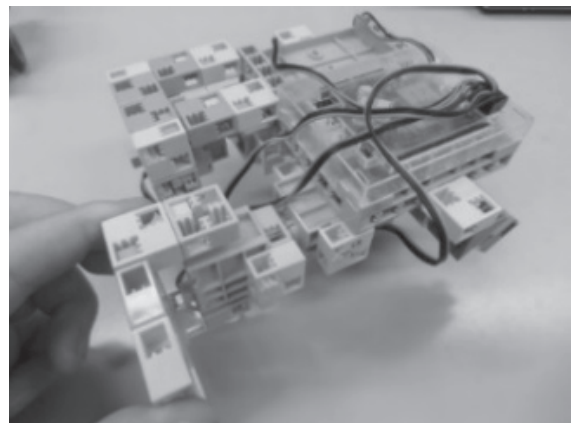


図3 ロボットの足の部分のパーツを変形させる行程

(3) 二足歩行型ロボットの形状

変形を完了した二足歩行型ロボットの形状を図4に示す。ライントレース型から二足歩行型のロボットに変形する作業は、ロボット1台につき2つの作業にもかかわらず15秒程度であった。このため、授業において20台のロボットを使用する場合には、教員が一人で作業しても約10分の時間で全教材の変形作業を終えることができた。この容易に変形できるボット教材の開発によって、教員の授業準備に要する時間は、以前より大幅に短縮することが可能となった。

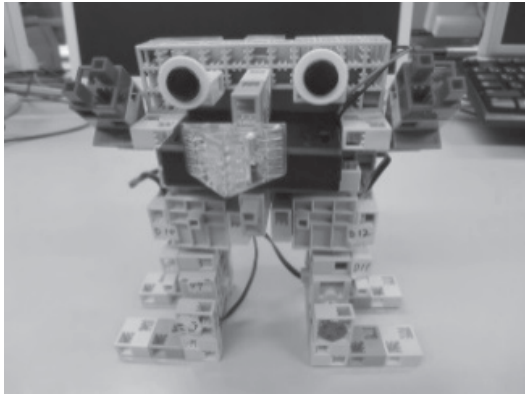


図4 変形を完了した二足歩行型ロボットの形状

3. 指導方法の考案

3.1. 二足歩行を制御するプログラムについて

授業で用いたロボットは、サーボモータ4個を用いて二足歩行を行った。歩行姿勢を制御する特別なセンサを使うことなく二足歩行が可能であり、動作機構とそれを制御するプログラムもシンプルのため、中学生の教育教材としての有用性が高い。今回用いた制御プログラムの全体を図5に示す。また、4個のサーボモータを制御するプログラムの核となる部分を図6に示す。なお、制御用の基本プログラムは教材メーカーから提供を受けたが、本授業に適するようにプログラムの一部を修正し、授業に臨んだ。

プログラムは関数命令コマンドを活用した。中学生に理解しやすい文字・文章表示のプログラム構造になっており、歩行を改善するのに修正しやすい特長があった。すなわち、「片方の足を上げてから下ろす」までを一連の動きとして関数命令化し、一塊のアイコン群としてプログラミングができる。そして「左足を上げて下ろす」命令群と、「右足を上げて下ろす」命令群が、それぞれ一塊になっているため、左右の足の動きを、対比しながらプログラミングが可能である。

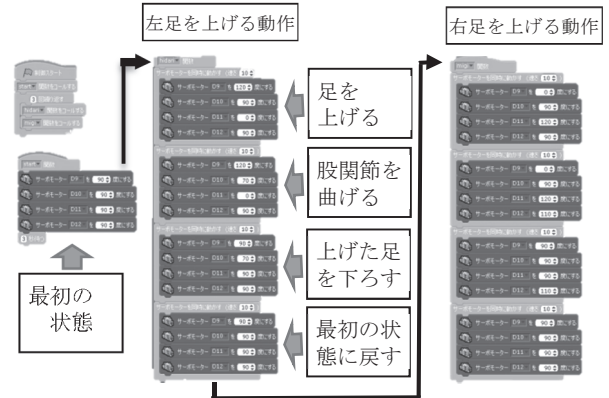


図5 二足歩行型ロボットを制御するプログラムの全体



図6 二足歩行を制御するプログラムの核の部分

3.2. 独特の二足歩行の原理とその生かし方

二足歩行は、まず片足を上げる動作から始まるが、その際にはロボットの重心を、軸足（上げる足とは反対側の足）の上に移動させることが必要になってくる。今回の実践に用いている二足歩行型ロボットは、4個のサーボモータのみで重心の移動を行い、二足歩行を可能にしている。一連の動作を図7に示す。重心移動を具体的に述べると、ロボットの左足を上げる際には、まず左足で床面を蹴り上げる動作により重心を右足に移動させ、左足を上げる（図7のステップ②）。次に、その動作に続いて右足の股関節を曲げ（図7のステップ③）、左足を着地させる（図7のステップ④）。これによって、左足が1歩前進した。これを左右の足で交互に動作することによって二足歩行を可能にしている。生徒は重心の移動を適切に行うために、関数命令コマンドに適切な数値（モータの回転角度）を代入した。

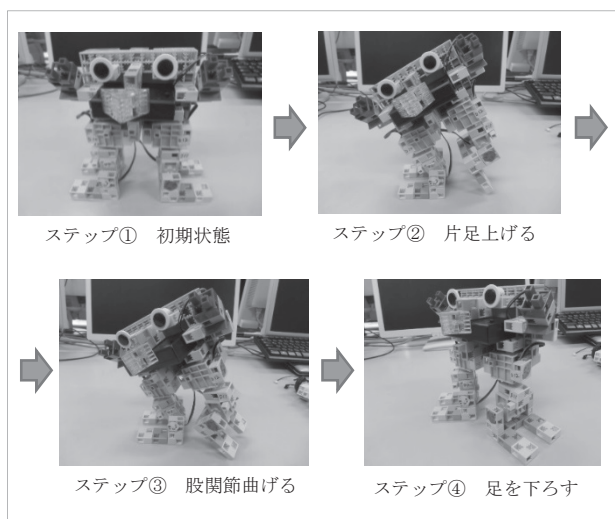


図7 ロボットが二足歩行する一連の動作

このロボット独特の二足歩行のメカニズムを深く学習することは、人間が当たり前に行っている二足歩行の基本的な原理を論理的に学ぶ上でも非常に有効であると考えた。そして、このメカニズムを生徒自身に解明させながらプログラミングの学習を進めることこそが、この教材を用いた学習を単なる知識習得型の学習に終わらせず、問題解決能力の育成にも繋がる深い学びに発展させることができるのではないかと考えた。

3. 3. 問題解決能力育成に繋がる指導方法

問題解決能力を育成するために、生徒自身が二足歩行のメカニズムを解明することに主眼を置いて指導した。

ロボットの二足歩行には、片足を上げる際の重心移動がポイントになるため、歩行動作の動画をモニターで何度も見せながら、班ごとに動作解析を行わせた。

そして、解析結果を基にしてプログラミングさせ、自分たちの仮説の正否を検証させた。学習活動の流れを図8に示す。

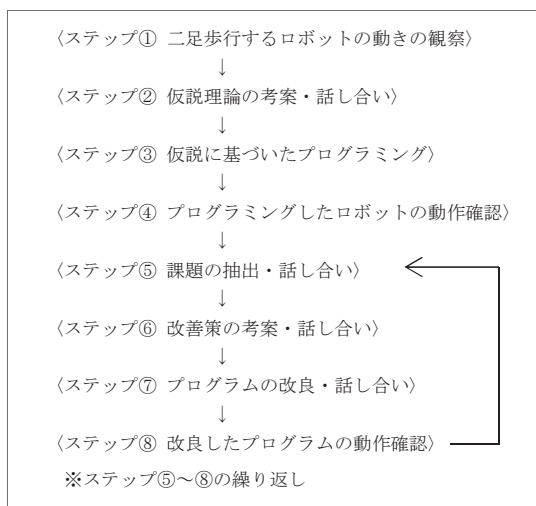


図8 学習する思考サイクル

4. 授業実践

授業実践は、奈良教育大学附属中学校の第2学年（4学級、1学級あたり男子19名、女子19名）において行った。1学級19班（2名ずつの班）を編成し、2人で1台のロボット教材を使用させた。

ライントレース型ロボットの学習を以下に示す。

- (1) 前進・後進（DCモータ制御）
- (2) 床面の二本のライン間を往復（1個のセンサ使用）
- (3) ライントレース（1個のセンサ使用）
- (4) ライントレース+障害物の手前で停止（2個のセンサ使用）
- (5) ライントレース+障害物の手前で停止+障害物上の物体を除去（2個のセンサ+サーボモータ）

(5)の学習課題を遂行しているロボットの様子を図9に示す。

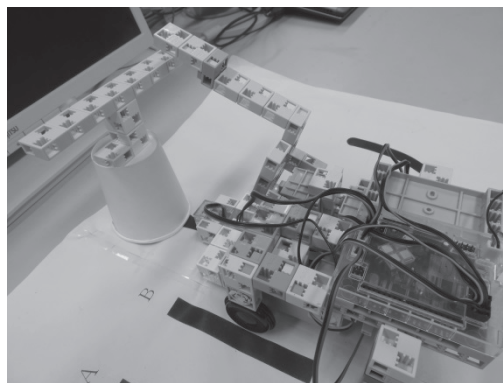


図9 学習課題の遂行の様子

ライントレース型ロボットの学習を終えた後、二足歩行型ロボットの学習を図8の通りに行った。その様子を図10に示す。

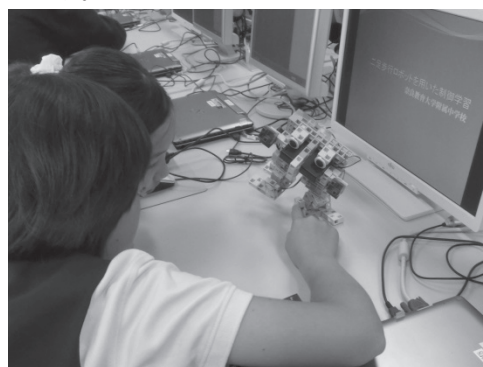


図10 二足歩行型ロボットを用いた学習の様子

5. 授業実践から得られた生徒の意見

授業後、生徒Aが次のような意見を述べている。その一部を抜粋して、以下に記述する。

<生徒Aの意見①>

二足歩行の学習を通して、一つ一つ丁寧に考えていく

ことが大切であることを学びました。

プログラミングは私たちが普通に行っていることを一つ一つ分解してその一つ一つを命令していかなければならないことを学び、とてもそれは大変で難しいことを知りました。しかしそのことから、私たちが何気なく使って、何も考えずにただ便利だな、と考えて使っているロボットや今の技術には、私たちが今行っているプログラミングよりもはるかに難しいプログラミングを行い、たくさんの努力と試行錯誤を繰り返しているのだな、ということが今まで以上にはっきりと知ることができ、今の技術者たちに感謝する気持ちが生まれました。

また、プログラミングをほかの人と相談していくことで私が考えていなかった新たな気付きなどが生まれ、プログラミングを通して、話し合うことの大切さにも知ることができました。

まだプログラミングには慣れていませんが、ペアの人と話し合っ、一つ一つ丁寧に考えていくことを大切にしていきたいです。

<生徒Aの意見②>

今回の授業を通して、今回は前回よりロボットを両足とも二足歩行させることができるようになりました。

それは、ペアの人と試行錯誤を繰り返して、何回も話し合い、仮説を立てて何度も考え直したからできたことだと思います。何回も仮説を立てて、話し合い、自分の意見を言うことで自分の考えも整理できたとし、どこのプログラミングが間違っているかも発見できたりしたので、プログラミングは自分一人ではできないと、学びました。

また、プログラミングをしていく中で、ペアの人と話し合っっていくことを大切にしていきたいと思います。

<生徒Aの意見③>

今までのプログラミング作業を通して、二足歩行のことや、ほかにも車が黒線の上を走っていくようにするにはどうすればいいのかを考え、ペアの人と話し合い、論理的に考えて相談しあって、論理的に話し合いをすることの大切さを学びました。

私は、技術の授業は、ただ作ったり、コンピュータについて知ったりすることなのかと思っていましたが、今回のプログラミングの授業を通して、それだけではなく、自分の考えを共有して、ほかの人の考えも取り入れ、試行錯誤を繰り返していく授業でもあり、技術の授業が一層面白く感じられました。また、この話し合いは、技術の授業だけに限らず、ほかの教科や、私たちが生活していくのに必要なことであると思いました。今回はプログラミングで論理的な話し合いをしましたが、ほかにも、プログラミング以外での論理的に考える場面はたくさん出てくると思います。そういう時に、一人で考えるのではなく、複数の人と考えて、自分の考えとほかの人

たちで論理的に話し合うことで、その授業がさらに良いものになるのでは、と思いました。

これらのことを通して、私はほかの人と考えを共有して、論理的に話し合いをすることの大切さを忘れずにしていきたいと思います。

この生徒Aは、二足歩行型ロボットのプログラミングする学習を通して、技術という教科の捉え方そのものが大きく変容している。つまり、技術の授業が「知識の習得」に終わるものではなく、「考え方」「学び方」の習得にも繋がっており、他の教科の学習や、これからの生活の中でも生ずることができる学びであることに気づいている。さらに論理的に話し合うことの大切さを、知識としてではなく、実感しながら学び取っていることも確認できた。

6. まとめ

中学校技術・家庭科技術分野の「情報に関する技術」の内容における計測・制御学習の教材を開発した。以前は導入教材としてライントレース型ロボットを製作し、発展教材として二足歩行型ロボットを製作していた。両者を別々に製作して授業に導入するには多くの時間を要したため、実践が難しかった。本研究では、ライントレース型ロボットの部品の一部を取り外し、二足歩行型ロボットに変形させる方法を開発し、その教材と指導方法が、実際の教育現場でも有効に活用できることを立証した。

また本教材によって、プログラムの計測・制御命令をモータに転送することによってロボットの前進と行進の基礎的な動作から、ライン上を自走する動作、アームを動かして物体を移動させる動作をライントレース型ロボットで遂行させた。さらに高度な動作である足を動かして前進歩行する二足歩行型ロボットの学習へと発展させることができた。そして、本研究で実践した授業については、多くの生徒に高い学習効果を確認できた。今度はこの教材・指導方法に更に工夫を加え、技術・家庭科の教育の発展に尽力していく所存である。

謝辞

今回の実践研究において、様々なご支援をいただきました株式会社アーテックの関係者の皆様に深く感謝申し上げます。また、実践研究にご協力いただきました奈良教育大学の学生であった森本貴大氏、松井裕平氏、堀田健士朗氏、大奈良瑞貴氏にも感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 文部科学省：小学校学習指導要領 第1章 総

- 則, pp. 17-27(2017)
- 2) 文部科学省：中学校学習指導要領 第8節 技術・家庭, pp. 309-316(2017)
- 3) 葉山泰三, 谷口義昭：タブレット型コンピュータを活用した技術の授業実践研究－レゴ・ブロックを用いたロボット製作の授業－, 奈良教育大学紀要, 第61巻, pp. 177-182(2012)
- 4) 葉山泰三：ロボット制御学習を通じた論理的な対話の育成, 奈良教育大学附属中学校研究紀要, 第42集, pp. 69-74(2013)
- 5) 葉山泰三：情報化社会で活用できる「計測・制御」学習の実践研究－計測・制御の教科学習、ロボコン国際大会、ロボット教室、の取り組みを通して－, 奈良教育大学附属中学校研究紀要, 第44集, pp. 68-74(2015)
- 6) 葉山泰三：二足歩行ロボットを用いたプログラミング学習におけるナラティブ分析, 奈良教育大学附属中学校研究紀要, 第45集, pp. 66-73(2017)