

プログラミング教育のためのロボット教材

野口孝文^{†1} 梶原秀一^{†2}

概要：我々は、CD を本体土台に組み込み用の小型コンピュータを搭載したロボットを開発した。本論文では、ロボットの動作と命令を関連づけた直感的に分かりやすい機械語命令セットを持つ仮想コンピュータを実現したことによって、本ロボットが初等中等教育現場における体験型の教育から工学を専攻する高等教育の現場での入門としても利用できることについて報告する。また実際に大学および高専で利用していることも報告する。

キーワード：プログラミング教育, ロボット教材, メカトロニクス

Robot Teaching Materials for Programming Education

TAKAFUMI NOGUCHI^{†1} HIDEKAZU KAJIWARA^{†2}

Abstract: We have been developing a robot that consist with an unnecessary CD and an embedded microcomputer, and holding robot classroom to target elementary and junior high school students. A program for controlling the robot is composed of intuitive instruction and is able to input by operating the several push button switch while viewing the 8 LEDs-display on the robot. This robot is unique teaching materials which can be learned the mechanism of the robot composed of sensors, actuators and a computer, without the computer (PC). In this paper, we describe about the robot and also describe that we actually used the robot in education in colleges.

Keywords: Programming Education, Robot Teaching Materials, Mechatronics

1. はじめに

プログラミング教育が初等教育においても重視されつつあるが、その学習方法については多様な提案がされている[1][2]。授業で使用するシステムは、指導者側も含め簡単ながらもプログラミング的な思考方法を習得できる必要がある。近年では、コンピュータ上でオブジェクトを直接操作してプログラムを作成できる環境も多くあるが、より高度なプログラミング学習にもつなげることができるシステムが望ましい[3]。

我々は、多様なプログラミングレベルの生徒や学生が容易に操作でき、プログラミングやコンピュータの仕組みを学ぶことができる教材ロボットを開発した。本論文では開発した教材ロボットを紹介する。以下の2章では本教材ロボットの機能と特徴について述べ、3章と4章では、小中学生対象の工作教室および高等教育機関における利用事例を示し、5章にまとめを述べる。

2. 教材ロボット

2.1 教材ロボットに求められる機能

本論文で紹介する教材ロボットは、10年以上継続している講習会や授業での実践を通して、機能や構造や操作性とそれらに対応するプログラムについて、改良を続けてきた[4][5]。その結果、本教材ロボットはプログラミング教育や

メカトロニクス教育を対象に、初等中等教育現場における体験型の教育から工学を専攻する高等教育の現場での入門教育で利用可能になった。本教材ロボットは、以下の①から⑥の要件を満たすことでこれを実現している。

- ①限られた時間内に学習者自身が組み立て可能
- ②直感的に理解できる命令セットを持っている
- ③初等中等教育を考慮して、PCがなくてもプログラミングが可能
- ④容易に実行結果を記録することができる
- ⑤高等教育を考慮して、システムアーキテクチャに基づくコンピュータの基本的な命令セットを持っている
- ⑥メカトロニクスの教材として利用できる

以下の節では、本教材ロボットがこれらの要件を実現していることについて述べる。

2.2 組み立てが容易なCDを利用した教材ロボットの構造

図1に我々が提案する教材ロボットの外観を、図2にロボットを構成する部品を示す。本教材ロボットは、ベースに使われなくなったCDを用いているため、中央の穴にペンを挿すことができる。また、持ち運びや収納が容易にできるように、50枚入りのCDケースに収まる大きさに設計している。

図2の左上がロボットを制御するコンピュータ基板である。ロボットの製作時間は、ドライバーやニッパーなど工具の使い方から順に説明して1時間半程度である。ただし小中学生を対象とした工作教室では、予め電子部品が半田付けされた基板を用いている。これらの部品を指導書に従って組み立てて行くことで、図1に示したロボットが完成

^{†1} 釧路高専
National Institute of Technology, Kushiro College

^{†2} 室蘭工大
Muroran Institute of Technology

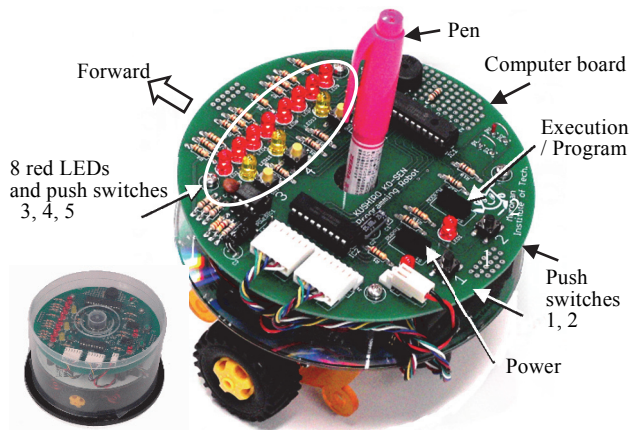


図1 教材ロボットの外観
Figure 1 Robot system for teaching materials

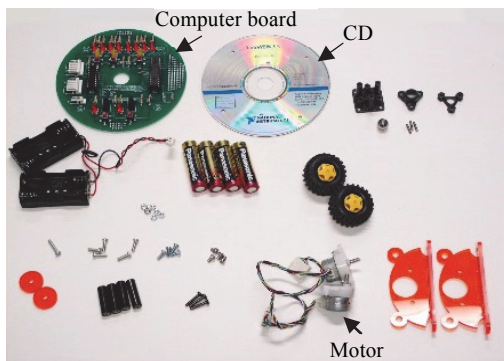


図2 教材ロボットの構成部品
Figure 2 Component parts of the Robot

する。図2の右下に示した本教材ロボットを構成する主要部品には、マイクロコンピュータに Microchip Technology 社製の PIC18F2523 (EEPROM 領域 256 バイト), モータには、コパル電子社製の SPG20-361 を 2 個用いている。2 つのモータはギアがあらかじめ組み込まれたステッピングモータである。モータ軸にタイヤを直結することができるためロボットの構造を簡単にできるとともに軌跡の再現性の高い安定した動作を得ることができている。

2.3 直感的に理解できる命令セット

本ロボットの制御命令は、基本的に 8 ビットで構成している。そのビットの内容を表示するために、図1のコンピュータ基板の左上 (ロボット前方) には 8 つの赤色 LED が取り付けられている。その下には 3 つの黄色 LED とボタ

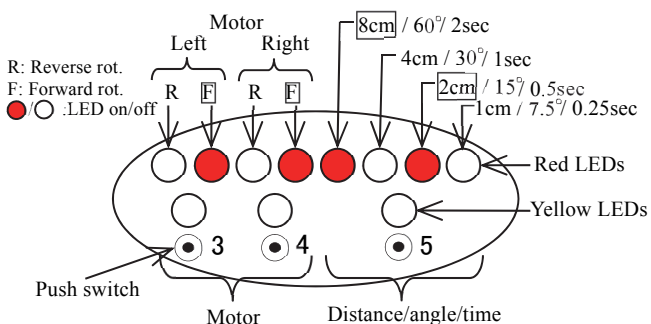


図3 図1に示したロボット上のLEDの配置
Figure 3 The LEDs and the push switches on the robot

ンスイッチ 3, 4, 5 が取り付けられている。これらの LED は、図3のように配置されている。

本ロボットでは、機械語命令セットの内、ロボットの移動動作に関する命令については、左右 2 つのモータ (タイヤと直結) の回転方向が、上位 4 ビットを直感的に見て分かるように割り当てている。そしてロボットの上に配置した 8 つの LED (図中 Red LEDs) に機械語命令を提示し、プログラムの変更や実行時には、機械語命令による LED の点灯とモータの動作を対応させて見る事ができる。

このモータの動作と LED の点灯の関係を図3の上に示す。8 つの LED の内、左から 2 つ (図中 Left) は左のモータに対応し、次の 2 つ (図中 Right) は右のモータに対応している。それぞれの 2 つの LED の左 (図中 R) が点灯しているときは後ろ方向へ、右 (図中 F) が点灯しているときには前方向へ進む。また残りの 4 つの LED は、直進しているときには進む距離、方向転回しているときには回転角度、停止しているときには停止時間に対応している。ここではこれらの大きさを、2 進数 4 ビットで表している。

図3のような点灯 (図中囲み文字) は、ロボットが前方に 10cm 進むこと (左右モータが FF で正回転、移動距離が 8cm+2cm で 10cm) を表している。この 8 つの LED の点灯状態がロボットの 1 つの動作を表す命令に対応している。ロボットの移動動作に関する命令は、図に示した通り直感的に分かるように設計している。そのため、その仕組みを説明すると小学生でも理解し、順次構造のプログラムであれば容易に作成することができる。この命令はロボットに搭載したマイクロコンピュータの EEPROM 領域に 8 ビットのデータ (01011010) として保存している。

2.4 PC を用いないプログラムの作成と実行

本教材ロボットへのプログラム入力やその実行は、コンピュータ基板上のスライドスイッチおよび 5 つのボタンスイッチで行う。図1のコンピュータ基板の右下 (ロボットの後方) に 2 つのスライドスイッチとそれらの後方に 2 つのボタンスイッチ 1, 2 がある。スライドスイッチの 1 つは電源スイッチで、もう 1 つが、プログラム入力と実行の切り替えを行うスイッチである。ロボットには 256 ステップの命令を入力することができ、命令は 0 から 255 番地までのメモリに記録される。電源スイッチをオンにすると、0 番地の命令が表示され、実行できるようにしてある。

プログラムの実行は、スライドスイッチを「実行」側に設定し、ボタンスイッチ 1, 2 を押し同時に離すことで開始する。ボタンスイッチ 2 のみを押し、離すことで赤色 LED に表示した命令のみを実行することもできる。

プログラムの入力も、図3に示した黄色 LED のそれぞれ下にある 3 つのボタンスイッチ 3, 4, 5 とスライドスイッチを組み合わせで行う。

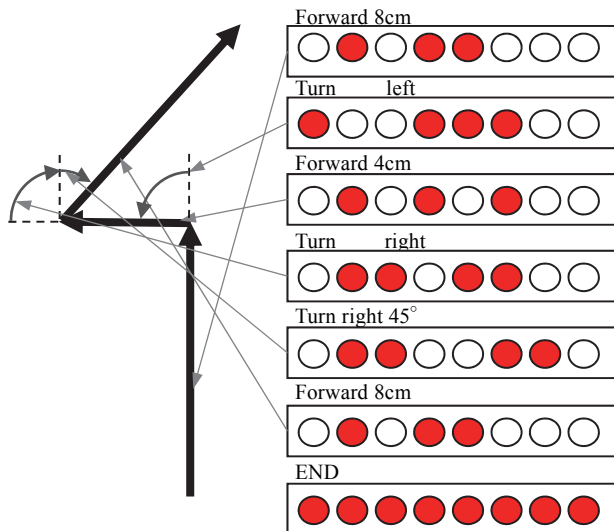


図4 ロボットに矢印を描かせるプログラム
Figure 4 Drawing an Arrow program at the robot

2.5 プログラムとロボットの動作軌跡

2.3節で述べたように、命令を直感的に入力できることから、学習者はロボットの動作をイメージしながらプログラムを作成することができる。そしてロボットにペンを取り付け実行することで移動の軌跡を残すことができるので、容易にプログラムした結果を確認することができる。図4に矢印の左半分の図形を描くプログラムの例を示す。このプログラムをすべて入力してから実行することもできるし、命令を1つ1つ確かめながら入力することもできる。工作教室ではプログラムの練習として、図4の図形の続きを描いて矢印にするプログラムの作成を課題にしている。

2.6 より高度な利用を目指した教材ロボットの特徴

本教材ロボットは、小学校から大学および新入社員の導入教育まで幅広い利用を考えている。

いずれの領域においても、初心者がプログラミングを学ぶためには、主体的にかつ簡単にプログラムを作成し実行できる環境が必要である。本教材ロボットの特徴は、プログラミングの導入において、小学生でも直感的に扱うことができるロボット移動命令の分かりやすさ、プログラミングや実行における操作の単純さにある。その上で、中学校の技術家庭では、センサやアクチュエータを含む計測・制御が学べる。また、工学系の大学では、コンピュータの構成や組み込みプログラム等の仕組みを学ぶことができる。

本教材ロボットには、2.7節で述べる仮想コンピュータが内部にあり条件判断や繰り返し命令なども用意している。そのため、より進展したプログラミングの学習にも利用可能である。また2.8節で述べるように本教材ロボットには、センサ（ボタンスイッチ）やアクチュエータ（モータ）も備えているためそれらを制御するプログラムも作成することができる。仮想コンピュータを元に、簡単なコンピュータアーキテクチャに関する導入教育にも利用可能である。

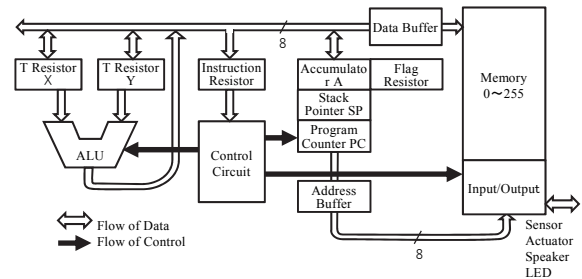


図5 仮想コンピュータのアーキテクチャ
Figure 5 Virtual computer architecture

表1 ロボットの命令セット
Table 1 The robot's instruction set

Instruction	Mnemonic	Hex data
Forward	FWD n	5n: 0101 n ₈ n ₄ n ₂ n ₁
Backward	REV n	An: 1010 n ₈ n ₄ n ₂ n ₁
Turn Right	RGT n	6n: 0110 n ₆₀ n ₃₀ n ₁₅ n _{7.5}
Turn Left	LFT n	9n: 1001 n ₆₀ n ₃₀ n ₁₅ n _{7.5}
Random Motion	IRG	30: 0011 0000
Stop	STP n	0n: 0000 n ₂ n ₁ n _{0.5} n _{0.25}
Speed	SPD n	3n: 0011 n ₅₀ n ₂₅ n _{12.5} n _{6.25}
Sound	SND	7n: 0111 nnnn
Random Number	RND	B0: 1011 0000
Display On/Off	DSP ON	B1: 1011 0001
Increment	INC	B2: 1011 0010
Decrement	DEC	B3: 1011 0011
Repeat	END FOR	F0: 1111 0000
Jump without condition	JMP nn	D0: 1101 0000 n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁
Jump with condition sw	JMP sws nn	Ds: 1101 0s ₄ s ₂ s ₁ n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁
Jump with condition flag	JMP f nn	Df: 1101 1f ₄₀ f ₂₀ f ₁₀ n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁
End	END	FF: 1111 1111

2.7 仮想コンピュータのアーキテクチャ

本ロボットのプログラムに利用できる命令は、図5のようなコンピュータを想定して作成している。この仮想コンピュータには、メモリは256バイトしかなく、汎用のレジスタも1つしかない。そのため、命令も簡単である。表1に命令セットの一部を示す。汎用レジスタを含めた演算やレジスタの値を用いたロボットの動作命令がある。

ロボットの動作は、モータの回転スピードや回転数といったアクチュエータに与える値のセットを設定するのではなく、命令を組み合わせで行う。そのため、各命令の働きをロボットの動作で確認する事ができる。

順次構造のプログラム作成は、小学生でも対応できているが、繰り返しや条件判断、センサ入力なども可能になっているので必要に応じてこれらの命令を使うこともできる。たとえば「直進と回転」を4回繰り返すといったプログラムの作り方ができる。

2.8 教材ロボットの操作性と拡張性

本教材ロボットは幅広い年齢の学習者が、短時間で基本的なプログラムを作成し実行できる。これは、教材ロボット上に用意された操作ボタンの数が必要最小限の個数で作られていることと、ロボットを動作させる命令のビットパターンとその表示およびアクチュエータ（モータ）の配置が直感的に分かりやすい関係になっているからである。

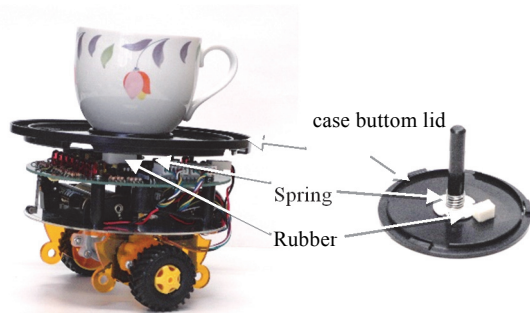


図 6 お茶運びロボット
Figure 6 A teacup carry robot

また入力や表示出力を簡単化したことにより、本教材ロボットはコンパクト化を実現できた。中学や高校の教室にある 1 人用の机の上でも利用できるため、講義における教材として容易に利用することが可能である。この利用の様子は 4 章の図 10 に示す。

一方プログラムの実行時には、ボタンスイッチを利用しないため、これをセンサ入力としたプログラムを作成することができる。次節に、ボタンスイッチをタッチセンサとして使用した例とボタンスイッチと並列に光センサを接続した例を示す。本教材ロボットは、コンパクトでありながら、多様な学習に対応するための拡張性も実現している。

2.9 ロボットに変更を加えることなく実現したお茶運びロボット

前節で述べたように本教材ロボットには、プログラム作成時とプログラム実行開始時に使用する 5 つのボタンスイッチがある。これらのボタンスイッチは、スイッチセンサとして小型コンピュータの入力ポートに接続されているため、本教材ロボットを制御する命令の中でも利用できるようにしている。具体的には 5 つのスイッチの 1 つ 1 つに対応したジャンプ命令を用意し、押されているときには任意のアドレスに実行先を移すことができる。この機能を利用してセンサを拡張した例を次に示す。

図 6 は本ロボットを利用したお茶運びロボットである。お茶運びロボットは、江戸時代に作られたからくり人形(お茶運び人形)のロボットである。ロボットは、お茶の入った茶碗を乗せるとお客のところへ茶を運び停止し、お客が茶を飲み茶碗を置くと再び元のところに戻ってくるという動作をする。

もとのロボットは、2 章の図 1 で示したように CD ケースに収めることができる。その CD ケースの底蓋(中央に軸がある)は、ひっくり返してロボットに挿し込むと、安定したお盆になる。茶碗が乗っていないときに少しお盆が持ち上がるように、中央の軸に柔らかい針金を 2 回程巻き付けてバネにして取り付けておく。また、ボタンスイッチ 3 をセンサにするために、茶碗が乗せられたときにお盆が下がりスイッチが押されるように、適当な厚さに切った消しゴムを両面テープでお盆に貼り付けている。

これを制御するプログラムは、14 行ほどで実現できる

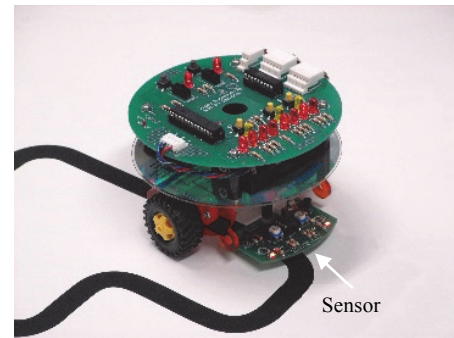


図 7 ライントレースロボット
Figure 7 A line tracer robot

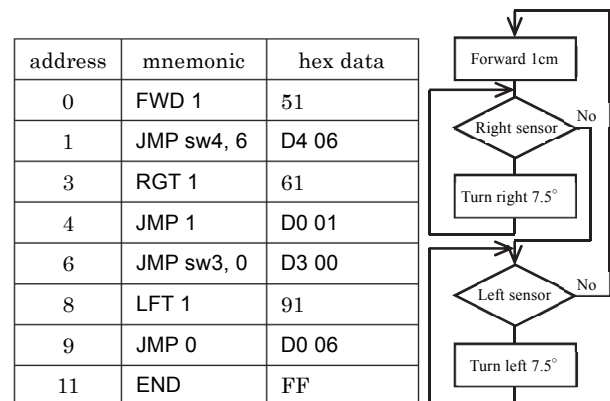


図 8 ライントレースのプログラムとフローチャート
Figure 8 A line trace program and its flow chart

2.10 センサを拡張したライントレースロボット

前節と同様にボタンスイッチの接続された入力ポートを利用した例を示す。図 7 は、上述の命令とロボットに光センサを取り付けることによって作成したライントレースロボットである。フローチャートとプログラムを図 8 に示す。図に示す通り 8 ステップ(12 バイト)の命令の組み合わせでプログラムはできている。図 8 のプログラムの 1 番地と 6 番地に、ボタンスイッチ 4 と 3 に並列に接続したセンサの値によって指定したアドレスにジャンプする命令が組み込まれている。なお光センサは、ラインを検知すると 0 (ボタンスイッチを押した時と同値)を出力する。

このようにロボットのシステムを変更することなく、外部に拡張する形式でセンサを取り付けたり、拡張回路を取り付けたりすることができるため、技術者の導入教育にも利用可能と考えられる。本教材ロボットを用いた学習では、限られた命令セットとメモリ領域、限られた入出力ポートしか持たないという強い制約の中で課題を解決する必要がある。一方この制約は、この枠組みの中の限定された条件を満たせばよいため、初心者にとっては考えやすいという利点でもある。

3. 小中学生対象の工作教室における利用

3.1 工作教室の実績

本教材ロボットを用いた工作教室を年2回釧路高専で開催しているが、これをすでに10年以上継続している。小学5年生から中学3年生を対象に毎回15人から20人程度で実施している。釧路高専の学生の中には、過去にこの工作教室を受講したことのある学生もいる。

本ロボットは、PCの環境のない場所での実施も可能である。2011年10月には室蘭工業大学との共同企画で小中学生対象の工作教室を室蘭市で実施した。また、ロボット学会2012年8月第30回日本ロボット学会学術講演会一般講演イベント企画3「ロボット工作教室」で小中学生対象の工作教室を札幌市で実施している。いずれもPCのない会場である。

3.2 ロボットの組み立て

工作教室では工具の使い方から説明しており、午前中の2時間でロボットの製作、午後の2時間でロボットの操作方法と課題プログラムの制作を行っている。比較的幅広い年齢の生徒が参加しているが、いずれの生徒も時間内にロボットを完成している。

午後のプログラムでは、自分の名前のイニシャルを描くという課題を与えた。ロボットは手に持ち移動させることができることから、図形を描くイメージに沿ってロボットを手動で移動させたり転回させたりしながらプログラムを考えることができる。図9は工作教室で取り組んだ課題の結果である。図9の(a)を見ると徐々に目的の字になるようにプログラムを改良していることが分かる。図9の(c)と(d)、(e)の「k」の文字に着目すると、同じ文字でも生徒によって描く順序が異なっている様子が分かる。(c)と(d)は「k」の斜めの線が1点で交わるように調整しているが、(e)では、ペンが穴よりも細いためペン先の位置が進行方向の反対側にずれ、ロボットの往復移動でペン先が元の位置に戻らないことを考慮していないことが分かる。

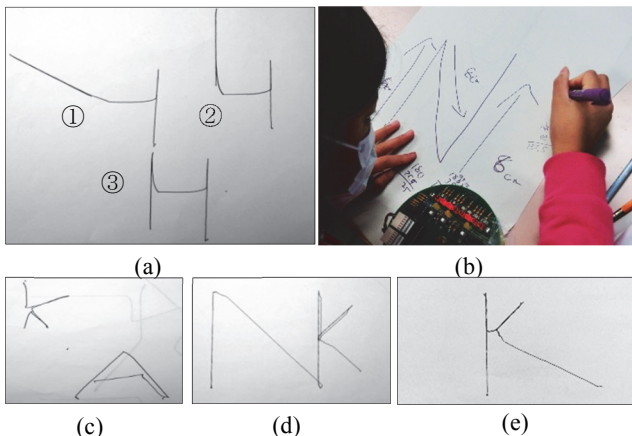


図9 試行錯誤しながらロボットに絵を描かせる様子
Figure 9 Challenge to write an initial letter and photo of girl making a program by trial and error

ライントレースのようなプログラムの課題では、学習者によるプログラムの違いが表れてこないことが多いが、文字や図を描かせる課題では、多様な結果を得ることが期待できる。

その試行錯誤の様子が、図9の(a)に見ることができる(①～③)。(b)の写真は、「N」の文字を書いた後に、縦の線の長さや斜めの線の角度を修正している様子である。同じ図形を描く課題であっても、きれいな図形を書くためにいろいろな工夫が求められる。

3.3 工夫が要求されるプログラム

本教材ロボットの構造は、図1の通り単純である。アクチュエータにはステッピングモータを使用しているため、ロボットの軌跡には再現性がある。一方、ペンの取り付けは、CDの穴を利用しているためペンの太さよりひとまわり大きい。そのため定規で引いたような線を描くことは難しい。また、車輪間の距離をきちんと合わせないと目的の角度にならないこともある。このように個々のロボットには、少しずつ他のロボットと異なる個性があらわれる。一般にデジタル制御による装置は画一的な再現性にとどまるが、本ロボットを使って目的の図形を描くときには、プログラムに工夫が要求される。たとえば、まっすぐ進んですぐに回転するのと、1cm戻って（ペンが細い場合ペン先はほとんど移動しない）回転することでペン先を回転中心に重ねるのでは異なった軌跡になる。自分の考えた図形を得るためには、何度も試行錯誤する必要がある。

プログラミングの学習では、失敗しそれに気がつき修正することを繰り返すことが理解を深めることにつながる。本教材ロボットでは図9に見られるように、簡単な図形描画プログラムでも1回で正解（気に入った図形）を得ることがほとんどない。他者の成功したプログラムをコピーしてもロボットの個性や使用するペンの特性によって同じ結果を得るとは限らないし、それが気に入るとは限らないからである。このような本教材ロボットの特徴は、プログラミングの学習に効果的と考えられる。

3.4 アンケート結果

工作教室終了時には毎回アンケートを採っている。前節で述べた通りこの工作教室は年に2回10年以上実施できているが、毎回好評価を得ている。2016年12月に行った工作教室では、小学5年生が7名、小学6年生が5名、中学1年生が3名の合計15名の生徒が参加した。全員が「参加して楽しかった」と回答し、講習の内容（主にプログラム）についても10名が「分かった」、5名が「だいたい分かった」と回答している。

これと同様の回答結果を毎年得ており、動作命令からモータの回転方向が直感的に分かることから、受講者はプログラミングを難しいと感じていないと考えられる。表2に最近開催した工作教室5回についての状況を示す。アンケートでは、12項目の質問事項が有り、表2にはそのうち本

表2 アンケートの結果
Table 2 Equate result

実施日	参加者内訳	アンケート回答から
2014.12	小学5年10名, 6年3名 中学1年1名	楽しかった: 86%, まあまあ楽しかった: 14%, 分かった: 79%, だいたい分かった: 21%
2015. 8	小学5年4名, 6年4名 中学1年2名, 2年1名, 3年2名	楽しかった: 100%, 分かった: 46%, だいたい分かった: 54%
2015.12	小学5年6名, 6年4名 中学1年1名	楽しかった: 100%, 分かった: 82%, だいたい分かった: 18%
2016. 8	小学5年8名, 6年4名 中学1年2名	楽しかった: 93%, まあまあ楽しかった: 7%, 分かった: 50%, だいたい分かった: 50%
2016.12	小学5年7名, 6年5名 中学1年3名	楽しかった: 100%, 分かった: 67%, だいたい分かった: 33%

論文に関係する講座の感想と内容の理解度をたずねた質問事項の2項目についての回答を記している。質問「この講座を受けた感想はどうか」に対して、①大変楽しかった②まあまあ楽しかった③ふつう④あまり楽しくなかった⑤全く楽しくなかった、の5項目から回答。質問「この講座の内容は分かりましたか」に対して、①わかった②だいたい分かった③むずかしくてわからなかった、の3項目から回答を得ている。なお「難しくて分からなかった」と回答した生徒は、いずれもいなかった。

4. 高等教育機関における授業での利用

4.1 大学における利用

本ロボットは、2013年から釧路高専と室蘭工業大学の共同で開発を行っている。室蘭工業大学で2015年度本ロボットを用いて行った授業について紹介する。授業は情報電子工学系の1年生190人を対象に所属学科の理解を深めることやメカトロニクスを理解することを目的にした「フレッシュマンPBLセミナー」である。1単位15回の授業のうち3回は、本ロボットを用いた実習を行っている。入学したての受講学生は、プログラミングやメカトロニクスについての知識はほとんどない。授業は、①プログラミングロボットの組み立てとプログラミング、②図形描画プログラムの作成、③プログラミングロボットによる描画実験の3項目について実習を行い、最後にレポートを提出する。

表3 教材ロボットに対する学生の感想
Table 3 Student impressions on the teaching materials

	感 想
1	プログラミングロボットというものを初めて製作し、ロボットに命令したのでプログラムしたロボットが正常に動作してくれたところに驚いた。
2	生まれて初めてプログラミングをして、最初は本当に操作方法が分からず、何度も友達に聞いたりしたので苦手に感じました。でも単純な命令だけではなく繰り返しなどの命令があったりし、8個の数字だけで複雑な命令ができるので不思議に思った。
3	「プログラムは難しい」という先入観のもと取り組んだ今回の課題だったが、プログラミングの初歩練習とはいえ、自分の好きなようにプログラミングし、実際にロボットを動かすというのは、とても新鮮で楽しかった。プログラミングがどのようなものか分かりやすく教えてくれる良い経験であった。
4	自分の考えたことを実際にプログラミングロボットが実現してくれることにとても感動した。

図10 ロボットを用いたプログラミングの授業(2015)
Figure 10 Programming in the classroom using the robot

フレッシュマンPBLセミナーでは、初心者の方がロボットを組み立てからプログラミングまでを行っている。プログラムは16進数の機械語で記述し、試行錯誤によって図形の描画を行う課題を課している。課題は、順次構造のプログラムによる文字の描画に始まり、最後には繰り返しを用いたプログラムによる図形の描画を行う内容である。学生が提出したレポートに書かれていた感想のいくつかを表3に紹介する。

4.2 高専における利用

本ロボットは2015年度から、釧路高専電気工学科2年生の授業で使用している。授業名は機械工学概論であるが、授業最後の2回の講義(90分×2)のシーケンス制御の単元で、基本的な操作と順次構造のみを用いたプログラムによって図形を描く課題を行った。授業の様子を図10に示す。対象学生は、プログラミングの経験はあるが、メカトロニクスの制御や機械語に関する知識はない。2回の授業では、プログラムの作成や実行においてトラブルもなく進めることができた。短時間ではあるが本ロボットのプログラミングに関して、ほとんどの学生が理解している。これに関するプリテストとポストテストの結果について次節で述べる。

4.3 学生の理解状況

高専の授業において、本ロボットを用いた授業の前後で学生の知識がどのような変わったかを調査した。テストの形態を取ったが、コンピュータに関する事柄に関連の深い用語を選択させる問を3問と計算に関する問を4問設定した。たとえば「アドレスに関する単語を選択せよ」に対し「番地、連絡先、メモリ、バイト、スマートフォン、住所、順序、命令」という単語が用意してある。計算は、2進数と16進数の変換の計算問題である。

2015年度の結果を示す。プリテストでは、選択における正解数が平均5.1/14個(選択肢24個中正解のもの14個から平均5.1個選択した)、誤り数が平均4.8/10個、計算問題の正解は平均1.8/4問であった。ポストテストでは、選択における正解数が平均6.1/14個、誤り数が平均3.6/10個、計算問題の正解は平均3.1/4問に向上した。その後の定期テストにおいても、簡単な計算と機械語によるプログラム作成ではあるが、平均8割の正解を得た。2016年度もほぼ同

様の結果を得ている。

対象の学生は、前節でも述べたように本授業を受講する時点ですでにC言語を用いたプログラミングの授業を受けているが、本授業の受講前はメモリやアドレスといったことを意識する学生は少なかった。本教材ロボットのプログラミングは、プログラムを記述するアドレスや2進数を意識して行うことから、それがテストの結果に表れたと思われる。そのことから本教材ロボットを用いた学習は、コンピュータの仕組みを学ぶのにも最適と考えている。

5. おわりに

我々は、仮想コンピュータを内部に持つロボットを開発し、小中学生を対象に工作教室を行ってきた。本報告では、高等教育機関におけるメカトロニクスやプログラミングの導入教育で利用可能であることを紹介した。本ロボットが、多様なレベルの授業に利用可能なことも示した。

本ロボットを用いた授業は、大学および高専で継続的に行う予定である。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費基盤研究(C)(24501168)、および(C)(16K01150)を受け推進している。

参考文献

- [1] 文部科学省, “小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について（議論の取りまとめ）”.
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.htm (参照 2017-05-18).
- [2] 原田康徳, 勝沼奈緒美, 久野靖. 公立小学校の課外活動における非専門家によるプログラミング教育. 情報処理学会論文誌. 2014, vol. 55, no. 8, p. 1765-1777.
- [3] 松澤芳昭, 保井元, 杉浦学, 酒井三四郎. ビジュアル-Java 相互変換によるシームレスな言語移行を指向したプログラミング環境の提案と評価. 情報処理学会論文誌. 2014, vol. 55, no. 1, p. 57-71.
- [4] 野口孝文, 梶原秀一, 千田和範, 稲守栄. 計測制御教育のための教材ロボットの開発. 教育システム情報学会研究報告, 2013, Vol.27, No.6, pp.217-220.
- [5] 野口孝文, 梶原秀一, 千田和範, 稲守栄. ロボットを用いた初心者のためのプログラミング教材の開発. FIT2014 第13回情報科学技術フォーラム. 2014, pp.269-270 (第4分冊).