

LEGO Mindstorms を用いたプログラミング教育

藤井 隆司、藤吉 弘亘

1 はじめに

近年、答えが未知あるいは複数ある問題に対して、知恵と情報を駆使して対処する訓練の重要性が問われ、いわゆる「創成」関連の授業が教育の場に取り入れられている。工学部では、原点である「ものづくり」への関心を高め、興味を持たせることの重要性が問われている。このような興味を持たせる手段として、本学では、すでに機械工学科の新入生を対象とした恵那オリエンテーションにおいて、LEGO Mindstorms が用いられ、その教育的効果が報告されている⁽¹⁾。

本稿では、情報工学科における取り組みとして、LEGO Mindstorms のプログラミング教育への活用とその有効性について報告する。さらに、導入教育として 2004 年度から始まる新入生創成科目としての検討についても報告する。

2 プログラミング教育

コンピュータプログラミング教育には、言語を教える側面(コーディング)とアルゴリズムの理解という二つの側面があり、この両面を同時に教えることが重要である。

2.1 プログラミング教育における問題点

現在、情報処理教育の一環として、多くの大学でプログラミングの授業が実施されてい

る。しかし、教育の場でのプログラミングは、コーディングのみに終始しがちで、アルゴリズム構築やデバッグの仕方まで指導するのは困難なものとなっている。

これらの問題に対して、グラフィック(図形)を描くプログラムを作成することで、アルゴリズムを視覚的に理解する初心者のためのプログラミング環境 Design By Numbers (DBN) が提案されている⁽²⁾。DBN は、すでに多くの教育機関で使用され、プログラムの本質を理解するのに役立っている。この様な視覚的效果によるアルゴリズムの理解は、ロボットを題材とした場合においても、ロボットの動作よりアルゴリズムを理解することで同様の効果が得られると考えられる。

2.2 ロボットを用いる効果

ロボット制御を行うことで、そのロボットの行動より、アルゴリズムの理解が容易になる。

学生自身がロボットを制作し、プログラミングを行う際、どのように間違いに気づき、自ら修正できるかが重要なポイントである。構文エラー等はコンパイル時に指摘されるが、ロボットが思うように動作しないエラーつまり、構文エラーでは無いエラーはロボットが示す誤った行動からデバッグを行う事となる(図 1 参照)。これにより学生は、ロボットの行動から自分の作成したプログラムが視覚

的に明確化され、アルゴリズムがどう実現されているか、なぜロボットが誤った行動をとったのか、その解決にはどうすればよいか、など論理的に考える力を養うことができる⁽³⁾。

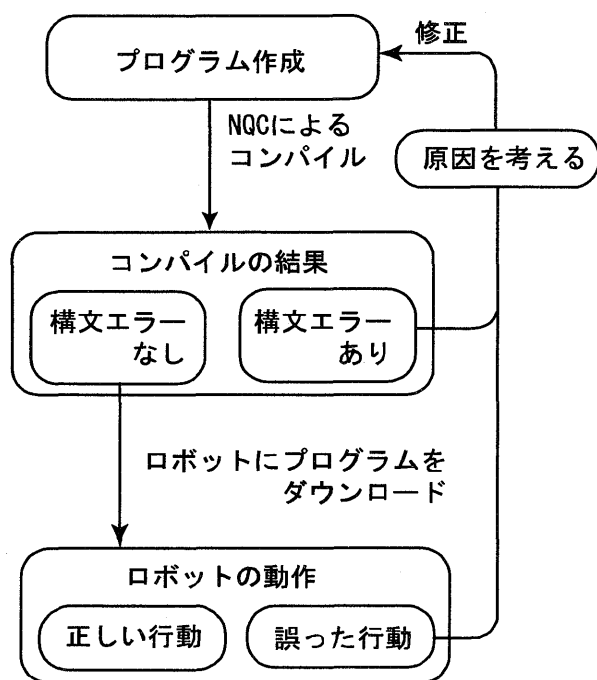


図1 トライ・アンド・エラーによる目的達成

3 LEGO Mindstorms を用いたロボットプログラミング

工学部情報工学科では2年次から情報工学実験を開講している。その実験テーマの一つに「LEGO Mindstorms を用いたロボットプログラミング」（以下 LEGO 実験）がある。本実験テーマでは、LEGO Mindstorms を用いて自律移動型ロボットを自ら組み立て、障害物回避等の外界とのインタラクションを伴うロボットの制御をC言語で行うことを目的としている。また、タイムトライアル競技を通じて、ロボットの形態や制御プログラムについて各自が創意工夫し、トライ・アンド・エラーで問題を解決し目的を達成する姿勢を身につける試みである。

3.1 LEGO 実験の概要

以下に LEGO 実験の環境、内容、レポート、学習効果等について示す。

3.1.1 実験環境

LEGO Mindstorms は、子供用のブロックで有名な LEGO 社が販売している組立・プログラミングが可能なロボットブロックである。本実験では Mindstorms シリーズの RIS (Robotics Invention System) を用いる。RIS には、図2のようなマイクロプロセッサ (H8) を搭載した RCX (Robotics Command System) がある。RCX には入力ポートと出力ポートがそれぞれ3つ設けられ、モータやセンサ類を取り付けることができる。本来、このセットの中には標準で RCX CODE と呼ばれる GUI 操作でプログラミングするソフトウェアが付属しているが、LEGO 実験では、Dave Baum 氏が開発した Not Quite C (NQC) を用いてプログラミングを行う。NQC は LEGO ロボットの中核 (RCX) 用のプログラムでC言語に近い文法を持ち、フリーウェアとして提供されている⁽⁵⁾。そのため、学生は所有しているPCにNQCをインストールし、自ら作成したプログラムの構文チェックを行うことが可能である。

本実験は工学部デジタルラボで行われる。デジタルラボは、講義時間以外ならば24時間いつでも利用できるため、学生は自分の好きな時間に実験の続きを行うことが可能となっている。

3.1.2 実験内容

LEGO 実験は1回1.5コマの2回（2週間）で取り組む。最終目標は、2人1チームでオリジナルロボットを作成し、図3に示すコースをより速く完走することである。

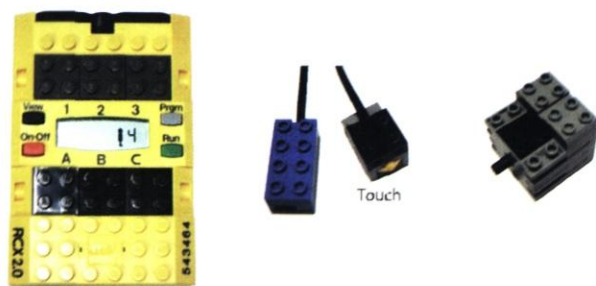


図2 RCX、各種センサ、モータ

● 実験1日目

モータの制御やタッチセンサ、ライトセンサ（図2参照）などLEGO Mindstorms で利用するNQC 特有な文法の説明や if 文、for 文などを用いたロボット制御を学習する。残りの時間はロボットの制作時間となる。また、2日目には自作のロボットを用いて実験を進めるため、学生は、空いた時間を利用してロボットを制作しておく必要がある。

● 実験2日目

並列タスク、セマフォなどを利用して複数のインタラクションを伴うロボット制御について学び、実験の最終課題であるタイムトライアル競技に望む。

実験の最終目標であるタイムトライアル競技のコースは約1m×2mで、タッチセンサによる障害物回避、ライトセンサによるラインレースの2つの要素が考慮されたコースとなっている（図3参照）。

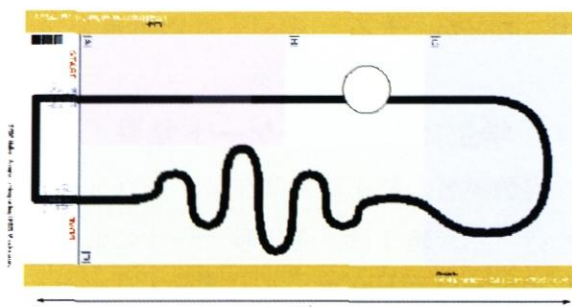


図3 タイムトライアル競技コース

このコースを1周するタイムを測定し、全チーム（約80チーム）においてタイムトライアル競技を行う。また、ロボットの制御プログラムは安定したものを開発させるために、「3回連続してゴールする事ができるプログラム」が条件となっている。3回の平均タイムが公式の測定タイムとなる。

LEGO 実験で製作するロボットは、図4のように、それぞれのチームが創意工夫してオリジナルロボットの製作を行うためロボットの形態が異なる。そのため、他のチームのロボットで完走するプログラムをそのまま流用することはできない。オリジナルのロボットにはオリジナルのプログラムが必要となる。

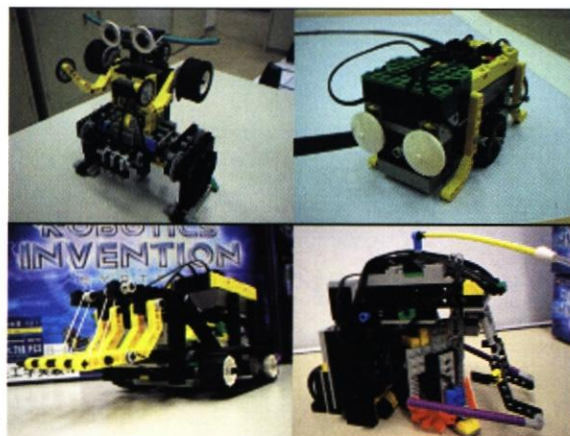


図4 学生が制作したロボット

3.2 実験レポート

2回目の実験の翌週（次のテーマ実験が始まる日）がレポート提出となる。

- ・タイムトライアル測定
- ・ロボットの動画及び静止画撮影
- ・チームリポート(Web ページ) 作成
- ・実験レポート

学生は、レポート提出期限までに、上記に示す、測定タイム、ロボットの写真、簡単なプレゼンテーションを含めた紹介文、20～30秒程度の動画、感想をまとめた各チーム毎の

報告用 Web ページ（図 5 チームレポート）を作成する。また、LEGO 実験の Web サイトにおいて、リアルタイムで自分のチームの順位を確認することができる。同様に、他のチームの情報も閲覧することもできる。全チームの競技が終了した時点で、上位チーム及び独創的なアイデアを持ったチームに対し表彰を行う。

このような Web ページによる各チームの情報公開や優秀なチームの表彰を行うことにより、学生相互の「競争意識」を「学習意欲の喚起」の一助としている。



図 5 チームレポート

<http://www.dg.chubu.ac.jp/LEGO/>

3.3 学習効果

LEGO 実験は複数のセンサを用いた簡単なロボット製作と NQC 言語によるプログラミングにより、ソフトウェアだけでなくハードウェアの要素も学習することができる。以下に各要素毎の学習内容を示す。

● ソフト的要素

NQC 言語を用いて障害物回避、ラインレースのプログラムを学生自ら開発させる

ことにより「選択構造」「反復構造」「並列タスク処理」「関数」「プログラムのコンフリクトとセマフォの導入」といったプログラミング要素の学習が可能である。

● ハード的要素

実験のセットには様々なギアが入っており、これらの組み合わせによる速度変化、トルクの変化等の基本的な機械工学要素が学習可能である。

● ロボットに関する要素

自律移動型ロボットを自ら組み立てることにより、障害物回避等の外界とのインタラクションを伴うロボットの制御、ロボットの強度、動作パターン、仕組みなどの簡単なロボット要素についても学習可能である。さらに、ロボットを自分の思い通りに動かす難しさも体験することができる。

3.4 ロボットに関心をもった学生への対応

LEGO ロボット実験により、さらなる興味を持った学生に対しては、現在、情報工学科、電子工学科、機械工学科から有志で集まった教員、学生が行っている RoboCup サッカーへの参加を促している。RoboCup では、画像処理・認識、戦略プログラムといったソフトウェアからマイコンプログラムによるロボット制御、ロボット製作、回路製作、機械工作などのハードウェアまで、専門的に学習、体験することができる。

4 学生によるアンケート結果

実験実習の終了時に学生にアンケート調査を行った。表 1 は、各実験テーマにおいてそれぞれの項目が該当したかの調査結果である。LEGO 実験は他の実験に比べ難易度は低い

興味深く、触発された内容であったことがわかる。また、正規の実験実習時間外に進んで実験した人数も一番多く、学生は能動的に取り組んでいるといえる。表 2 は、LEGO 実験についてのアンケート結果である。学生の中には半田付けなど物作りに関心があり、さらに一歩進んだ「ものづくり」への興味があることがわかった。

1 チームの構成人数においては、アンケート結果から 1 人または 2 人が良いという意見が得られたため、2 人 1 チームの構成は適切であったと考えられる。回答の傾向として 1 チームの人数を 1 人と希望している学生は「パートナーと一緒にできた」「役割分担ができた」の質問に対して「No」と答えている

ケースが多くみられた。自由記述欄では

- 時間が足りなかった
- 実際にロボットが動く感動した
- 1 人でやりたかった
- トライ&エラーの考えをととても学びました
- パートナーが選べれば良かった
- 自分で考えたことをどのようにすれば実現できるか等、創意工夫する姿勢が学べた
- 後から実験を行ったグループは前のチームを参考にできるが最初のチームは参照できないため不公平

といった意見が見られた。これらの自由記述からは、この実験の目的である創意工夫、トライ・アンド・エラーの姿勢で学生が取り組んだことがわかる。

表 1 情報工学実験 III、IV のテーマアンケート結果 [人]

実験テーマ	興味深い	難しい	触発された	自習時間※
論理回路	16	20	7	3
デジタルフィルタ	18	35	5	11
CAD による回路シミュレーション	18	35	5	11
画像処理認識	50	53	20	36
マイコン応用	31	23	11	5
通信方式	16	28	5	8
音声合成実験	26	47	9	18
LEGO Mindstorms によるロボットプログラミング	64	16	31	43
ニューラルネットワーク	20	24	10	9

※自習時間はレポート作成を除き 3 時間以上学習した人数

表 2 LEGO 実験についてのアンケート [人]

質 問 項 目	Yes	No
パートナーと一緒にできた	54	37
役割分担できた	58	33
組み立てる手作業が良い	81	10
達成感が得られた	77	14
ロボットに興味できた	74	17
他のロボット (LEGO 以外) を作成してみたい	65	26
物作り (半田付け) などの実験テーマをやってみたい	59	32

5 導入教育としての検討

実験のアンケート結果より、本 LEGO 実験は、難易度は低いが生徒が触発されやすいことがわかった。また、ロボットプログラミングを通じてソフトウェア、ハードウェアの要素、ロボットに関する要素を複合的に学習することができるため、C 言語を学んだことのない年齢層や、新入生への導入教育としても有効であると考えられる。

そこで、LEGO 実験の内容を生涯学習へ適用し、評価を行う。また、その結果を基に 2004 年度から始まる新入生創成科目の 1 テーマとしての検討を行う。

5.1 生涯学習への適用

2003 年 8 月 18 日から全 6 回（2 グループ）で春日井市 I T 講習会中級コースが開催され、本実験テーマがプログラミングの入門教育として利用された⁽⁶⁾。この講座における最終目標を、RoboCup ジュニアの競技種目である LEGO ロボットによるサッカーとした。講座では、予めサンプルプログラムを用意し、そのサンプルプログラムの動作を実際にロボットの動きで確かめるという方法で行われた。参加者は、図 6 のように合計 30 名、12 歳から 75 歳と幅広い年齢層であった。ほとんどの参加者はプログラミング経験は無く、Windows 操作ができる程度である。この講座修了後、LEGO 実験と同様なアンケート調査を行った。そのアンケート結果を図 7 に示す。約 95% の参加者が、プログラムを何となく理解できたという結果を得た。このことより、C 言語を全く知らない人にとっても LEGO ロボットを用いたプログラミング教育が導入として有効であることが分かった。

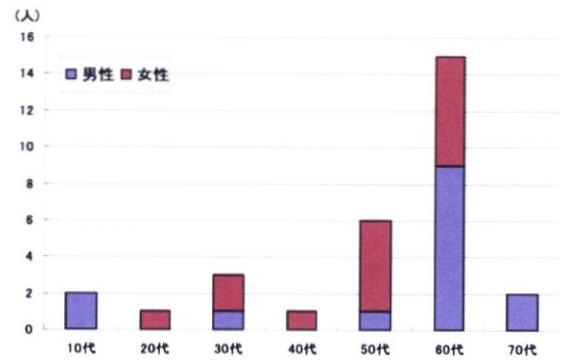


図 6 I T 講習会年齢別参加割合

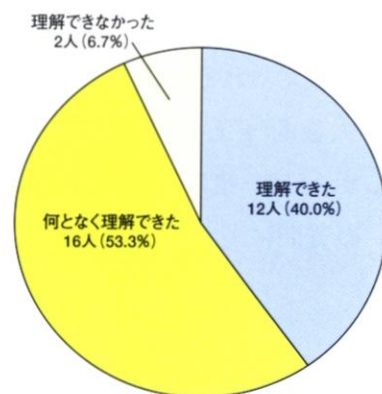


図 7 プログラミングについて

5.2 新入生創成科目

情報工学科では 2004 年度カリキュラムにおいて 1 年次後期に開講される創成科目として本テーマを採用することを検討している。LEGO ロボットを用いた創成科目では、その学習内容として、C 言語の導入教育、アルゴリズムの構築法に加え、機械的要素、種々の工学知識の応用が含まれる。また、作成したロボットを紹介する Web ページの作成を通じて、動画、静止画などの加工、マルチメディアの扱い等の情報リテラシーとして学習内容の一部も同時に教育することを考えている。さらに、ミッション（課題）をチームで取り組むことにより、協調作業と、アイデアプレゼンテーションによるプレゼン表現能力の習得を目指す。これらは、JABEE 対応

の PBL(Project/Product-Based Learning)科目にも対応が可能であると考えている⁽⁷⁾。

現在、検討中の一学期の予定を以下に示す。

- 第1回 概要説明
- 第2回 モータ、センサの制御
- 第3回 ロボット制作
- 第4回 ミッション1(規定課題)
- 第5回 ロボット制作
- 第6回 ミッション2(応用課題)
- 第7回 プレゼンテーション講義
- 第8回 アイディアプレゼンテーション
- 第9回 Web ページ作成について
(画像加工法)
- 第10回 チーム Web ページの作成
- 第11回 プログラミング実習
- 第12回 競技大会、表彰

6 まとめ

本稿では、LEGO ロボットを用いたプログラミング教育への活用とその評価を行った。アンケート結果より、学生が LEGO 実験に興味を持ち、自発的に実験実習に取り組んでいることが分かった。これは、自ら問題を解決し目的を達成する、トライ・アンド・エラーの姿勢を身につけるといふ LEGO 実験の目的を達成することができたと考えられる。

しかしながら、中にはソフトウェア指向の学生、モチベーションを持たない学生も存在する。それらの学生に対してどのように対処するかが今後の課題である。

また、この実験競技の表彰の様子は中部大学の Web ページにて紹介された (図8)。

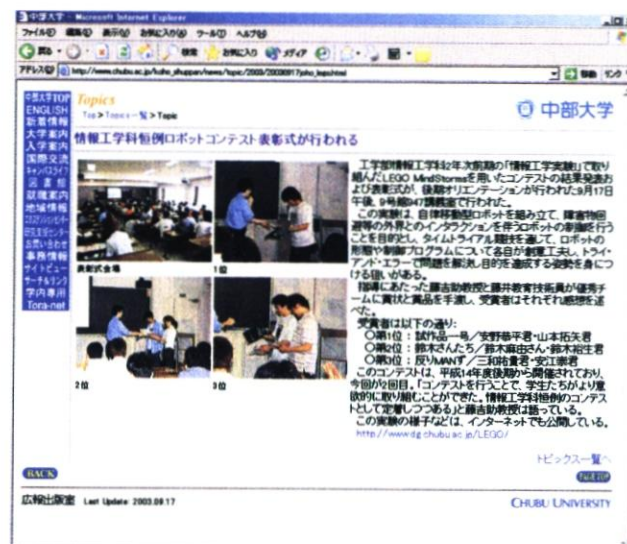


図8 大学 Web ページでの紹介

(教育技術員 工学部情報工学科 藤井隆司)
(助 教 授 工学部情報工学科 藤吉弘亘)

参考文献

- (1) 細川, 大西, 佐伯, “機械工学科 1 年生オリエンテーションの改善” 中部大学教育研究, pp. 58-65, 2001.
- (2) John Maeda, “Design By Numbers” ソフトバンクパブリッシング, 2001.
- (3) 堀越, 三浦, 高信, “Mindstorms と Visual Basic を利用したロボット制御の教育法” 第19回日本ロボット制御学会学術講演会, p. 1257, 2001.
- (4) 中部大学工学部情報工学科, “情報工学実験 I・II”, 2003.
- (5) <http://www.baumfamily.org/nqc/>
- (6) 藤吉, 藤井, “ロボットをコンピュータで操るには” 春日井市 IT 講習会中級コーステキスト, 2003.
- (7) <http://www.jabee.org/>