

小中学生へのLEGOロボットのプログラミング体験イベントの 運営方法の検討とゲーム課題の再構成

中井智己^{†1} 内山豊^{†1} 水島聡哉^{†1} 富永浩之^{†1}

小中学生への導入的な体験イベントとして、LEGOロボットの制御を題材とする入門プログラミングのグループ演習を提案している。プロジェクトごとに、各種センサによるイベント駆動などの技術項目を盛り込んだゲーム課題を提示し、部分演習としての基本問題を用意する。基本問題の進捗状況や応用課題の実技認定で達成度を評価し、学習意欲を刺激する。本論では、マインドストームの新版EV3での運用に向けて、新たな規定ロボットによるゲーム課題の再構成を行った。また、MathPubセンターの教育事業の一環として、継続的な教室を実施する運営方法を検討した。

Management and Projects in Introductory Educational Event for Elementary and Middle School Students as Programming Experience with a LEGO Robot and Game Subjects

TOMOKI NAKAI^{†1} YUTAKA UCHIYAMA^{†1}
TOSHIYA MIZUSHIMA^{†1} HIROYUKI TOMINAGA^{†1}

We have proposed an introductory educational event for elementary and middle school students as programming experience with a LEGO Robot and game subjects. We offer a game problem including several technical items such as control structure and event driven with various sensors. We also prepare some basic problems for an applied problem. The approach with some practical skill tests promotes learning volition and group activity. In this paper, we introduce revised project curriculum and game problems for a new robot by EV3 version. We also discuss management methods for continual class lesson business in MathPub center.

1. はじめに

本研究室では、これまで、小中学生を対象とする大学見学や科学体験イベント[1]、高校生に対するオープンキャンパスや出張講座を実施してきた[2][3]。内容は、情報科学の概観と理工系大学の実態の紹介、関連分野の入門的な模擬授業、論理思考を訓練するゲーム演習、そしてLEGOロボットの制御プログラミング体験である。目的は、コンピュータやプログラミングへの関心を高め、情報系学科への進路選択を考えてもらうことである。

特に、LEGO演習は人気が高く、かがわ科学体験フェスティバル(2001年～)、研究室紹介のデモ展示(2003年～)、夏休みの親子講座(2003年～)、SPPやSSHによる高大連携の体験講座(2008年～)などを継続している。一方で、日程調整や補助学生の確保、距離と時間の制約、費用や準備のコストなどの問題点も明らかになってきている。したがって、これまでの実践結果を踏まえ、効果的な演習方法への改善、遠隔講座も視野に入れた自学自習できるオンライン教材の構築などを進めている[4][5][6][7]。本論では、特に、小中学生へのLEGOプログラミング体験イベントについて、今後の継続的な運営方法の検討や、新しい実行環境でのゲーム課題の再構成について述べる。

表1 本研究室での教育実践

年度	対象	日付	種類	課題
2014	高大連携 福山盈進高校	2014.12	本番演習	図形模走, 黒線追跡, 領域刷出
		2014.11	事前講義	制御構造, 図形模走, 黒線追跡
	オープンキャンパス	2014.11	-	基本構造
	オープンキャンパス	2014.08	-	基本構造
2013	高大連携 福山盈進高校	2014.01	事後総括	口頭発表
		2013.12	本番演習	図形模走, 黒線追跡, 領域刷出
		2013.11	事前講義	制御構造
	オープンキャンパス	2013.11	-	基本構造
	オープンキャンパス	2013.08	-	基本構造
	高大連携 高松第一高校	2013.06	本番演習	図形模走, 黒線追跡
2013.06		事前講義	図形模走, 黒線追跡	
2012	高大連携 福山盈進高校	2013.01	事後総括	口頭発表
		2012.12	本番演習	図形模走, 黒線追跡, 領域刷出
		2012.06	事前講義	制御構造, 図形模走, 黒線追跡
	高大連携 高松第一高校	2012.10	事後総括	口頭発表
		2012.08	本番演習	図形模走, 黒線追跡, 領域刷出
		2012.06	事前講義	図形模走, 黒線追跡
	オープンキャンパス	2012.11	-	基本構造
	科学体験 フェスティバル	2012.11	-	基本構造
	オープンキャンパス	2012.08	-	基本構造
2011	高大連携 福山盈進高校	2011.12	事後総括	口頭発表
		2011.11	本番演習	図形模走, 黒線追跡
	高大連携 高松第一高校	2011.10	班長研修	図形模走, 黒線追跡
		2011.12	事後総括	口頭発表
		2011.11	本番演習	図形模走, 黒線追跡
		2011.11	事前講義	例題, 図形模走, 黒線追跡
	科学体験 フェスティバル	2011.10	班長研修	図形模走, 黒線追跡
		2011.11	-	基本構造

^{†1} 香川大学
Kagawa University

2. LEGO 演習の実行環境と演習の概要

教材には、LEGO 社と MIT が開発した教育玩具 LEGO Mindstorms を用いる。これまでは、旧版の NXT キットを使用してきたが、2013 年に発売された新版の EV3 キットへの移行を進めている[8]。ハードウェアとしては、本体のマイコンの性能が大きく向上した(図 1)。USB と microSD のポートが設置され、Bluetooth を内蔵し、別売のドングルで WiFi 接続も可能である。付属部品には、大小 2 種類のモータ、4 種類のセンサ(カラー、タッチ、ソナー、ジャイロ)があり、別売で IR センサと IR ビーコンも使える。ソフトウェアとしては、ビジュアルプログラミング環境が新版(EV3 Software)になり、一般用はフリーソフトウェアとして提供されるようになった(図 2)[9]。センサやモータを 1 つのブロックとし、ループや分岐のフレームに埋め込んでいく。基本的なプログラムの組立て方は同じだが、出力パワーや時間などのパラメタが、ブロック内のプルダウンメニューで設定できるなど、改良が施されている。

ブロックには、モータやスピーカなどを制御する動作系のブロック、ループや分岐を行うフロー制御系のブロック、センサの値を読み取るセンサ系のブロックがある。これらのブロックをパレットから選び、キャンパス上で組み合わせることにより、プログラムを作成する。新機能としては、マイコンの情報タブが追加されている。マイコンの空き容量の確認や、繋がっているセンサの値をリアルタイムで読み取ることができる。また、旧版の NXT のハードウェアに対しても利用できる。教育用に機能を追加した有償版も販売されている[10]。

本イベントは、小中学生 2~3 人を 1 グループとし、90 分程度のプロジェクトを実施する。これまで高校生に対して行ってきた半日の出張講座を細分化し、プロジェクト単位に整理した。1 つのプロジェクトは、技術要素を含んだ応用課題の達成を目標とする。要望に応じて複数のプロジェクトを選んで演習する。各グループに、1 台の規定ロボット(図 3)と PC を提供し、ゲーム課題ごとの実技フィールド(図 4)上で動作させる。情報系の演習であることから、ロボット自体の組立ては行わず、プログラミングを主とする。ロボットの下側のカラー(色彩)センサ 2 個で、床面の黒線やカラータイルを判別する。なお、カラーセンサは、基本の 8 色を判別する。また、ライト(光量)センサとして、明暗や白黒の輝度を計測できる。前側のタッチ(接触)センサでバンパーへの接触を、ソナー(反響)センサで超音波による障害物からの反響を検知する。NXT 版では、アタッチメントとして、手腕機構(アーム)の着脱も可能である(図 5)。

イベントにおいては、最初に、規定ロボットの仕組みと EV3 Software の操作を説明しておく。各プロジェクトでは、まず、10 分程度で技術要素の解説と応用課題の達成目標を解説する。次に、応用課題の部分演習となる数問の基本問

題に取り組む。基本問題は、中間目標として幾つかの設問に分かれる。これにより、ロボットの振舞いを理解し、ゲームの任務要素を攻略する。最後に、審判員の立会いの下、応用課題の実技認定を受けて合格となる(図 6)。走行時間と任務の達成度で採点も行うので、チーム対抗の競技として実施してもよい。

なお、事前講義では、教材管理ページ LegoWiki 上(図 7)で、実技フィールドの図解や実演ビデオなどのマルチメディアを提示し、シミュレーション教材 LegoSim(図 8)を活用する。LegoSim は、シミュレーションを含んだ遠隔学習や本番の進捗管理を支援する統合教材である。予め、Web 上のこれらの教材で、予習しておくこともできる。



図 1 EV3 キット

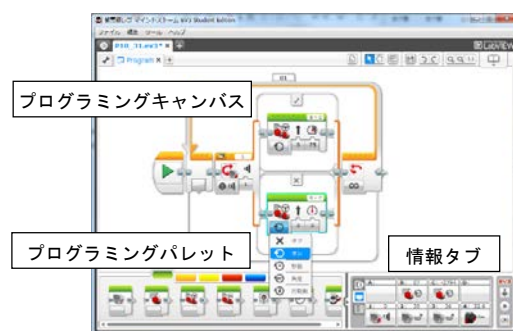


図 2 EV3 Software

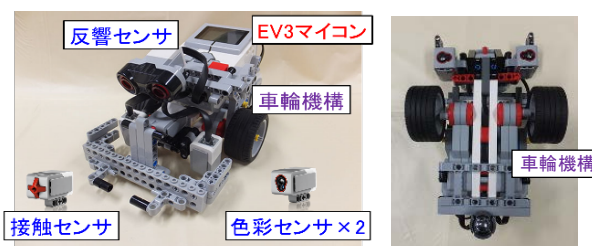


図 3 EV3 版の規定ロボット



図 4 実技フィールドと用具

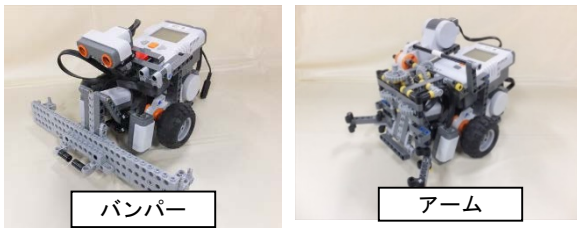


図5 NXT版の規定ロボットのアタッチメント



図6 応用課題の本番演習と実技認定

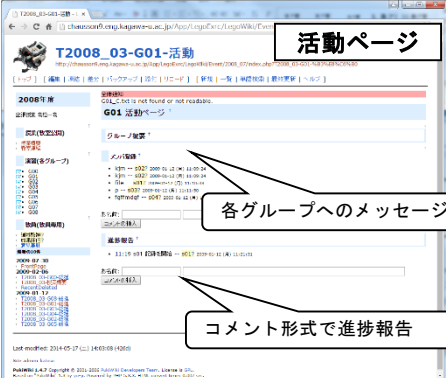
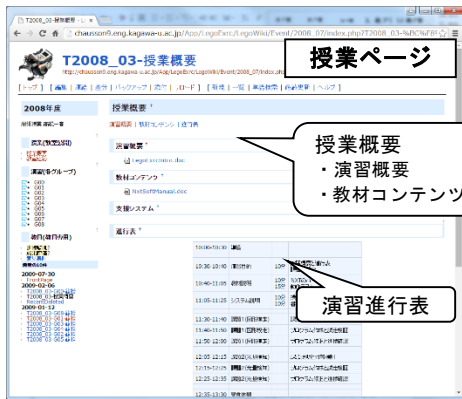


図7 教材管理ページ LegoWiki

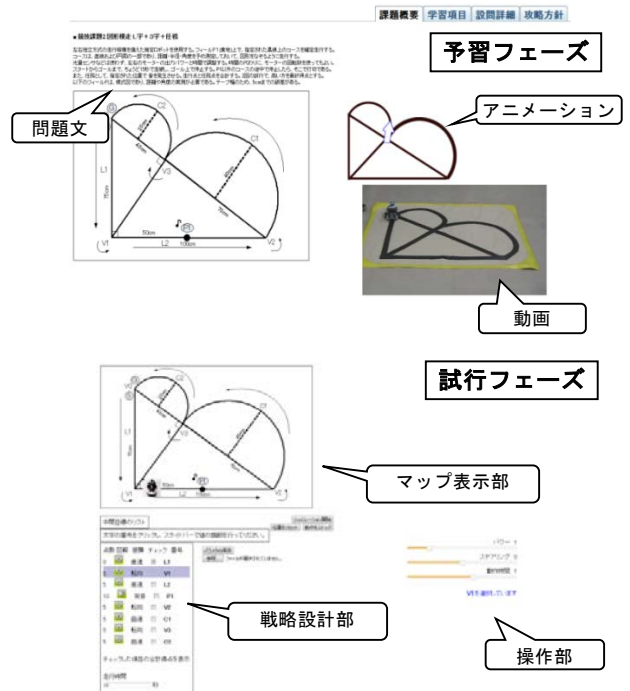


図8 シミュレーション教材 LegoSim

3. MathPub センターにおける LEGO 教室

MathPub は、DynaxT 社が開発した Web 上の数学教材提供サービスである[11]。算数や数学の計算問題の出題パターンを簡易言語で記述し、乱数で問題を生成して、ドリルやテストの出題紙として出力できるようにする。香川大学の教員もメンバである MathPub 委員会を設立し、優れた問題作成のコンテスト MathPubAAA などを実施している。英語やロシア語のページも用意し、国際的なサービスを目指している。今後は、数学やプログラミングに関する公共的な教育事業を展開する計画である。

その一環として、実際の物理的な活動スペースを用意し、夏頃から LEGO 教室を開催する予定である。本研究室での小中学生への教育実践の一部も、この方向に集約させる。近年、このような LEGO プログラミング教室は、各地で実施されている(表 2)。当面、ソフトウェアは、EV3 版に統一させるが、ハードウェアは、NXT 版と EV3 版の両方を使用する。また、LegoWiki 上のコンテンツや配布資料も修正を行っている。

これまで、NXT 版として、幾つかの応用課題を用意してきたが、継続的な LEGO 教室を実施するため、将来も見越して、表 1 の 8 個のプロジェクトを挙げた。また、チーム対抗の競技大会の実施も検討している。現在の EV3 版の規定ロボットでは、手腕機構のアタッチメントが取り付けられないため、当面はプロジェクト 4 までが実現可能である。応用課題は、従来の NXT 版のものに加え、大学 3 年次の C プログラミングの課題も、簡素化して取り入れた。また、各プロジェクトの応用課題について、技術要素を整理し、

基本問題を体系的に設定した(表 2)。応用課題の得点ルールを整備し、実技認定の採点では、途中までの達成でも満足度が得られるようにした。

LEGO 教室の教育目的は、プログラミングにおける手続的処理の概念的な理解である。特定のプログラム言語の文法に依存しない、制御構造やイベント駆動、試行錯誤によるパラメタ設定、動作検証からのフィードバックなどに馴染ませる。なお、左右のモータによる走行特性の実験や、各種センサの読取値による閾値の設定などは、中学教科の技術・家庭の計測・制御の単元も意識させる。LEGO 教室の後には、MathPub センターの別な事業として、Scratch などによるプログラミング教育に誘導する。

LEGO 教室は、原則として、週末に 2 回分を開催で、各プロジェクトを割り振った時間割を組む。受講者は、8 組までに絞って実施する。受講者は、興味あるプロジェクトを選んで申し込む。ただし、番号の若いプロジェクトの履修が前提となる場合もある。教室の実施においては、講師 1 名と 3 グループごとに 1 名の補助者を置く。月 2 回程度の開催となるため、教授マニュアルを充実させ、特にトラブル対処を迅速に行う。また、多くの学生がバイトとして参加できるよう研修も実施する。

表 2 各地の LEGO プログラミング教室

地域	名称	対象	URL
全国	クレファス	小学生	https://crefus.com/
関東	トゥルースアカデミー	小中高	http://truth-academy.co.jp/course/
東京	株式会社イマージュ	小学生	http://www.image-edu.com/
関西	ロボ団	小学生	http://www.robodone.com/
倉敷	クレア・クラ	小学生	http://www.creakura.com/
倉吉	アピオン・キッズ	小中学生	http://www.it-schools.net/lego/

表 3 プロジェクトと応用課題の一覧

Proj	制御構造とイベント駆動	10 基本問題	条件分岐, 無限反復, 条件待機 ボタン操作, センサ検知 イベント駆動
Proj2	車輪機構の走行特性	21 図形模走	走行実験, 結果計測, 値推定 順次, パラメタ調整 シーケンシャル制御
Proj3	光量センサによる床面検知	31 黒線追跡 32 領域抽出	光量/色彩センサ, 床面検知 多分岐, 二重反復 フィードバック制御
Proj4	反響センサによる遠隔検知	41 障害回避 42 目標接近	反響センサ, 遠隔検知, LCD 表示 距離計測, 方向定位, 位置推定
Proj5	手腕機構の応用	51 荷物運搬 52 障害排除	接触センサ, 近接検知 ステッピング制御 マルチタスク, 変数と型, データ保持
Proj6	各種センサによる環境検知	61 迷路探索 62 車庫入出	磁気/温度/赤外線センサ 色彩検知, 閾値設定
Proj7	回転センサによる状態検知	71 指南走行 72 二輪走行	回転センサ, 角度/角速度/傾斜 倒立振り フィードバック制御, 内部状態
Proj8	ロボット同士の協調動作	81 蹴球追跡 82 蹴球放入 83 蹴球連携	Bluetooth/超音波/赤外線通信 物体認識, 相互通信, 相互認証 ボール追跡, ドリブル, パス, シュート

表 4 各プロジェクトの基本問題

- 10_1 順次構文とブロックのパラメタ設定
 - ・ サウンドとトーンの発音
 - ・ モータの駆動
- 10_2 反復構文と継続条件
 - ・ ループにおける回数指定
 - ・ ループにおける時間指定
- 10_3 待機構文とイベント駆動
 - ・ 時間によるイベント駆動
 - ・ ボタンによるイベント駆動
- 10_4 選択構文と分岐条件
 - ・ キープスイッチ
 - ・ トグルスイッチ
- 20_1 図形模走 直線コース Δ字
 - ・ 図形模走 直線コース L字走行
 - ・ 図形模走 直線コース 任務走行
- 20_2 走行動作 特性実験
 - ・ 左右のモータ出力による距離・半径・角度の測定
- 20_3 図形模走 曲線コース 3字
 - ・ 図形模走 曲線コース 半円走行
 - ・ 図形模走 曲線コース 3字走行
- 30_1 黒線追跡
 - ・ 黒線追跡 中央走行
- 30_2 イベント駆動
 - ・ 色彩検知 赤標識 検知+自転
 - ・ 接触検知 障害物 検知+停止
 - ・ 色彩検知 緑標識 複数検知+通過+発音
- 40_1 反響センサによる対象物の位置認識
 - ・ 反響センサによる距離計測
 - ・ 反響センサによる方向定位
- 50_1 マルチタスクによる並列動作の同時実行
 - ・ 接触検知による荷物保持
 - ・ 車輪機構と手腕機構の並列動作
- 50_2 ステッピングによるモータ制御
 - ・ 経過時間によるモータ制御
 - ・ 回転角度によるモータ制御

4. プロジェクトの基本問題と応用課題

4.1 プロジェクト1 基本制御

プロジェクト1は、「制御構造とイベント駆動」である。応用課題は特になく、4つの技術項目に関する基本問題について、幾つかの設問に取り組む。順次・選択・反復の3つの基本制御構造と、タイマやセンサによるイベント駆動について、モータの回転やスピーカからの発音を出力とし、ロボットの振舞として理解する。

図9の(1)は、基本問題10_2「ループにおける回数指定」のプログラムである。ドレミという音を繰り返す。ループと発音のブロックから構成される。ループブロックでは、条件として回数を選択し、回数を設定する。ループブロックの中に、発音ブロックを置き、反復処理を行う。

(2)は、10_3「時間によるイベント駆動」のプログラムである。待機2秒の後、車輪機構のモータを3秒間動作させ、音を鳴らす。待機、ステアリング、発音の3つのブロックから構成される。待機ブロックでは、条件として時間を選択し、秒数を設定する。ステアリングブロックでは、時間による走行を設定し、発音ブロックでは、音高と時間を設定する。

(3)は、10_4「選択構文と分岐条件」のプログラムである。接触センサのオン/オフの状態が発音を切り替えるトグルスイッチを作成する。発音、ループ、スイッチの3つのブロックから構成される。スイッチブロックでは、条件として接触センサを選択する。接触センサがオンのときは、上側に置かれたブロック群が実行され、オフのときは下側が実行される。ループブロックでは、条件として無限を選択し、マイコン本体の終了ボタンが押されるまで継続する。

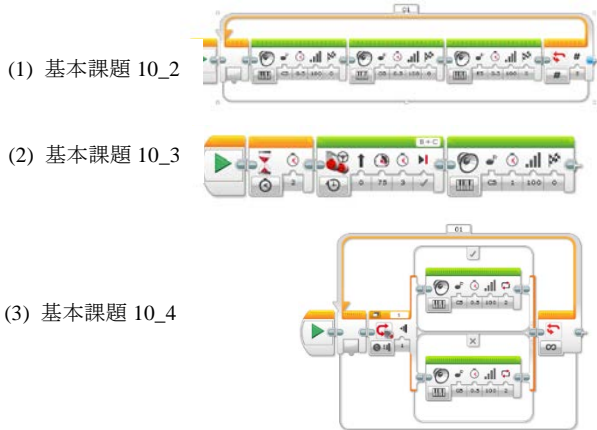


図9 基本制御のプログラム

4.2 プロジェクト2 応用課題21 図形模走

プロジェクト2は、「車輪機構の走行特性」である。実技フィールドとして、直線および円弧を組み合わせた黒線コースを用いる。応用課題21「図形模走」は、指定された黒線上のコースをなぞるように確定走行する(図10)。基本問題20_1では、前半の直線コース(Δ字)を走行する。20_2で、左右のモータによる走行特性(距離・半径・角度)を測定する。20_3で、後半の曲線コース(3字)を走行する。

確定走行では、予め測定しておいたコースの形状と走行特性に基づき、シーケンシャル制御を行う。光量センサなどは使わず、左右のモータの出力パワーと時間で調整する。時間の代わりに、モータの回転数を使ってもよい。走行特性は、測定誤差やロボットごとの差異も考慮が必要である。スタートからゴールまで、ちょうど15秒で走破し、ゴール上で停止する。P1以外のコースの途中で停止したら、そこで打切である。また、任務として、指定された位置で音が発生させる。走行点と任務点を合計する。3回の試行で、最も高いものを最終得点とする。

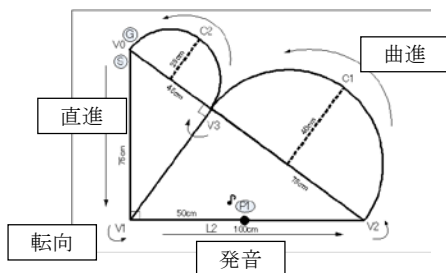


図10 図形模走の実技フィールド

4.3 プロジェクト3 応用課題31 黒線追跡

プロジェクト3は、「光量センサによる床面検知」である。実技フィールドとして、ひょうたん型の黒線コースを用いる。目標とする応用課題31「黒線追跡」は、指定された黒線上のコースを検知走行する(図11上)。また、赤や緑のカラータイルを認識し、任務を実行する。検知走行では、左右の光量センサで白黒を判定し、左右のモータを調整するフィードバック制御を行う。

基本問題30_1では、スタートからゴールまで、30秒程度で周回する例題プログラムを与え、15秒程度で走破するように高速化する。30_2では、3つの任務を単独で実行できるようにする。任務は、赤標識での右自転、緑標識での発音、塔状アイテムへの接触での停止である。コースから明確に脱落したら、そこで打切である。走行点と任務点を合計する。3回の試行で、高い2回の合計を最終得点とする。図11上は、模式図であり、距離や角度の実測が必要である。テープ幅のため、5cmまでの誤差も考慮する。

図11下のプログラムは、黒線追跡を行うプログラムである。スイッチブロックを使用し、色彩センサの値による条件分岐を行う。2つの色彩センサの値は、白&白、黒&白、白&黒、黒&黒の4パターンに分かれる。白&白は直進、黒&白と白&黒は黒を感知したセンサ側へ曲進、黒&黒は現在の状態を継続している。常に黒線が2つのセンサの間にあるように走行することで、追跡を行うことができる。

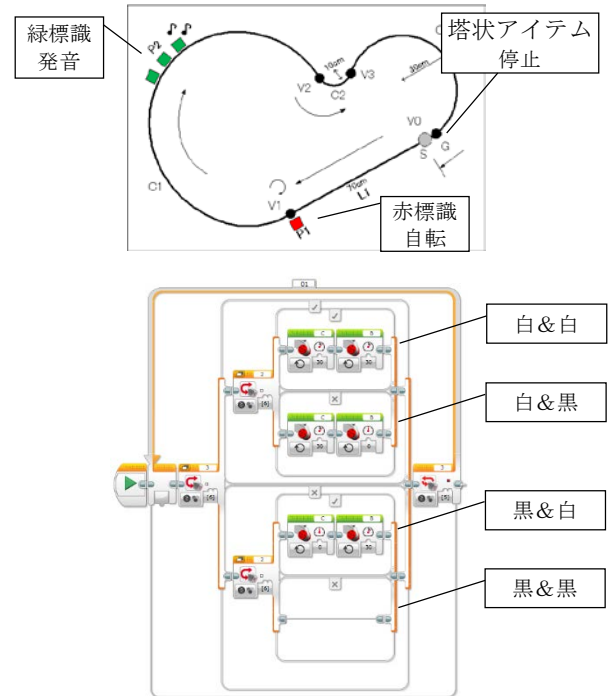


図11 黒線追跡の実技フィールドとプログラム

4.4 プロジェクト3 応用課題32 領域掃出

プロジェクト3では、同じ実技フィールドを用い、もう1つの応用課題32「領域掃出」にも取り組む。規定ロボットには、アタッチメントとしてバンパーを装着する。黒線

境界を外枠として、内部の白地領域のみを動き回り、60秒以内で、ランダムに置かれた10個の球状の障害物を領域外に掃き出す(図12)。本体の中心が境界線からはみ出たら失格とする。

例題プログラムは特に与えず、黒線追跡のプログラムを基に、自由に作成する。黒線を検知したとき、どのような後退走行を行えば、効率良く領域内を掃過できるかを考える必要がある。領域は、やや歪んだ瓢箪状であり、小領域側に落ち込むと抜け出すのが難しい。

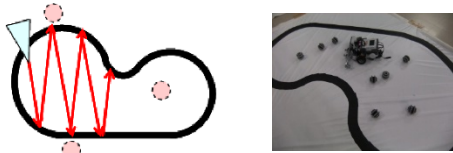


図12 領域掃出のルール概略

4.5 プロジェクト4 応用課題41 障害回避

プロジェクト4は、「反響センサによる遠隔検知」である。応用課題41「障害回避」は、コース上の障害物を反響センサで探知し、左右に回避しながらゴールに進む(図13)。障害物に触れずに、早く終点に着くことを目指す。フィールド外に出なければ、直線コース上を走行しなくてもよい。ただし、終点として指定された範囲内で停止しなければならぬ。

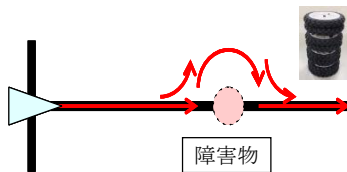


図13 障害回避のルール概略

4.6 プロジェクト4 応用課題42 目標接近

応用課題42「目標接近」では、実技フィールドの中央の開始地点から探索を開始し、塔状アイテムを見つけたら、触れない距離まで接近して停止する(図14)。このとき、終了音を出す。目標物や障害物に接触したら失格である。制限時間を越えたら失格とする。また、フィールドを外れたら失格である。途中での明らかな停止も失格である。ただし、走行の切替えによる瞬停を除く。この応用課題に対する基本問題では、位置推定の技術要素として、反響センサによる距離計測と方向定位に分けて行う。

目標物は、開始地点から50~100cmの距離にランダムに置く。競技場の中には、他の目標物は存在しない。その範囲外には、壁や人間などの障害物の可能性がある。フィールドは、200cm×200cmである。ただし、実際に走行でき、目標物が設置される範囲は、フィールド中央部の120cm×140cmとする。得点物は、高さ15cm、幅6cm四方である。

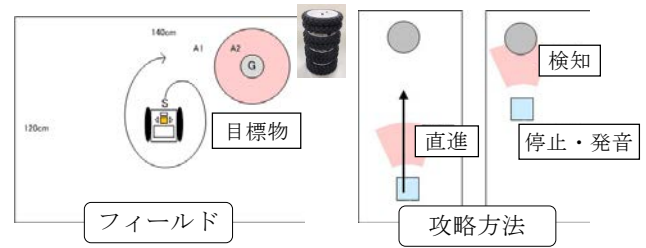


図14 目標接近のルール概略

5. おわりに

小中学生への導入的な体験イベントとして、LEGO ロボットの制御を題材とする入門プログラミングのグループ演習を提案している。プロジェクトごとに、各種センサによるイベント駆動などの技術項目を盛り込んだゲーム課題を提示し、部分演習としての基本問題を用意する。基本問題の進捗状況や応用課題の実技認定で達成度を評価し、学習意欲を刺激する。本論では、マインドストームの新版EV3での運用に向けて、新たな規定ロボットによるゲーム課題の再構成を行った。また、MathPub センターの教育事業の一環として、継続的な教室を実施する運営方法を検討した。

参考文献

- 1) 富永浩之, 加藤聡, "LEGO ロボットの制御をゲーム題材とするプログラミング演習のフレームワーク", 信学技報, Vol.109, No.163, ET2009-19, pp.31-38, (2009).
- 2) 加藤聡, 富永浩之: LEGO ロボットを題材とする導入体験としてのプログラミング演習の実践, JSiSE 研究報告, Vol.23, No.3, pp.23-28, (2008).
- 3) 高橋知希, 富永浩之: 高校生への導入体験としての LEGO プログラミング演習の支援 - 高大連携の LEGO 講座における遠隔学習の検討 -, JSiSE 研究報告, Vol.28, No.2, pp.113-120, (2013).
- 4) 加藤聡, 富永浩之: LEGO ロボットとゲーム課題を題材とする問題解決型のプログラミング演習 - LegoWiki によるグループ作業管理と教育実践 -, 情処研報, Vol.2010-CE-103, No.11, pp.1-8, (2010).
- 5) 西上明普, 加藤聡, 富永浩之: LEGO ロボットとゲーム課題を題材とする導入体験としてのプログラミング演習 - 対話的な事前学習のためのオンライン教材の作成 -, 信学技報, Vol.110, No.453, ET2010-116, pp.137-142, (2011).
- 6) 水島聡哉, 高橋知希, 富永浩之: 高校生への導入体験としての LEGO プログラミング演習の支援 - ゲーム課題の攻略法の検討と実習の作業状況の記録に関する統合教材の機能 -, 情処研報, Vol.2014-CE-127, No.5, pp.1-4, (2014).
- 7) 水島聡哉, 内山豊, 高橋知希, 富永浩之: 高校生への導入体験としての LEGO プログラミング演習の支援 - 事前学習と本番演習における統合教材の各フェーズの利用方法 -, 信学技報, Vol.114, No.513, ET2014-85, pp.1-6, (2015).
- 8) LEGO Company, LEGO.com Mindstorms EV3, <http://www.lego.com/ja-jp/mindstorms/products/>.
- 9) LEGO Company, LEGO.com Mindstorms EV3 software, <http://www.lego.com/ja-jp/mindstorms/learn-to-program/>.
- 10) 株式会社アフレル, オンラインショップ, EV3 software, <http://afrel-shop.com/shopdetail/000000000238/ct82/page1/order/>.
- 11) 株式会社 DynuxT, MathPub, <http://mathpub.jimdo.com/>.