

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 -

加藤 聡, 富永 浩之

香川大学工学部 〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20

E-mail: s09t453@stamil.eng.kagawa-u.ac.jp

あらまし 初級プログラミング授業の事前教育として、LEGO ロボットの制御を題材とするグループ演習を提案している。問題解決の手段としてのプログラミングの導入体験として、技術要素を含むゲーム課題を題材とし、中間目標を与えて、段階的な問題解決を行わせる。PukiWiki ベースのコミュニケーション支援システム LegoWiki を開発し、プロジェクト管理の機能も導入して、グループ作業の活性化を図る。理系高校生への公開授業として短期の教育実践を行うため、教材と Web を整備した。

キーワード LEGO Mindstorms, 問題解決学習, プログラミング演習, Wiki, 教育実践

Programming Exercises for Problem Solving Learning with a LEGO Robot and Game Subjects - Group Work Support by LegoWiki and an Educational Practice -

So KATO, Hiroyuki TOMINAGA

Faculty of Engineering, Kagawa University

2217-20 Hayashi-cho, Takamatsu, Kagawa, 761-0396 Japan

E-mail: s09g453@stamil.eng.kagawa-u.ac.jp

Abstract We have proposed a group exercise for beginners using LEGO Mindstorms robot kit. It is pre-education for introductory programming lesson. The educational purpose is to promote problem solving skill using control programming. It also aims to keep learning motivation during group collaboration. We constructed communication support system LegoWiki based on PukiWiki. It helps to raise group activity with strategy discussion and progress report. We considered several attractive game projects and prepared necessary Wiki contents of educational materials in open college event for high school students. We add some functions as plug-in modules for task management in group works.

Keyword LEGO Mindstorms, Programming exercise, Problem solving learning, Wiki, Educational practice

1. はじめに

近年、大学情報系学科の新入生においても、計算機のユーザとしての感覚が強くなり、情報システムを開発する側としての意識が薄くなって

いる。そのため、プログラミングへの興味を持てず、演習授業での学習意欲を維持することが難しい。そこで、事前教育として、ゲーム要素を取り入れた題材で、プログラミングの楽しさ

を感じさせる機会を設ける必要がある。このような背景から、本研究では、自律ロボットの制御プログラミングを題材とするイベント型の演習を提案している[1][2][3][4][5]。

演習の教材としては、LEGO 社と MIT が共同開発した教育玩具 LEGO Mindstorms を用いる[6]。キットは、NXT マイコンおよびモーターや各種のセンサを含む LEGO ブロックで構成される。これらを組み合わせ、センサで外部環境を感知し、モーターで動作する自律ロボットが簡単に制作できる。制御プログラムは PC 上で作成し、USB ケーブルで NXT マイコンに転送する。既に、幅広い教育現場で、ロボティクスなどの題材として使われている[7]。

我々も、プログラミング演習の題材として、大学生以下への教育実践を幾つか行ってきた[2][3]。これらは、グループ演習を前提としており、協調的な活動への支援が必要となる。本論では、グループ演習を総合的に支援する LegoWiki について、作業管理の機能を論じる。また、事前教育として実施する高校生への体験演習のためのページ構成について述べる。

2. LEGO プログラミング演習

2.1. LEGO プログラミング演習の概要

本研究での演習では、LEGO ロボットを制御する様々なゲーム課題に、グループ単位で取り組ませる。本演習の教育目的は、モーターやギアなどを組み立てるロボット制作ではなく、自律的に動作する制御プログラミングである。そこで、車輪や手腕などの動作機構を持つ規定ロボットを用意する(図 1)。接触・光量・反響などの各種センサによる検知機構も備える。例題として、センサによる状態検知とモーター駆動の組合せの典型的な制御パターンを提示する。

学生は、ラインレースなどのゲーム課題に対し、「黒線に沿って進む」、「ボールをゴール

に運ぶ」などの任務を達成する戦略を議論する。次に、それを実現するための具体的な方法を検討し、GUI 環境での制御プログラミングとして実装する(図 2)。ゲームフィールド上で、実際に規定ロボットを動かす、動作を検証する。そのフィードバックとして、試行錯誤しながら戦略を修正したり、制御パラメタを調整する。最後に、グループ間で競争する競技大会を開催し、その結果を総括する。これらを通して、「ものづくり」としてのプログラミング、問題解決手段としてのプログラミングを体験させる。

2.2. 4 段階のフレームワーク

本研究では、教育目的と対象者に応じ、様々な LEGO 演習を表 1 の 4 段階のステージに整理する[4]。第 1 ステージは、主に小中学生を対象とし、GUI 環境でパラメタ設定によるロボットの動作状況を感覚的に理解してもらう。15 分から 60 分程度で、達成感が得られるようにする。第 2 ステージは、高校生および大学新入生を対象とし、プログラミング演習への導入体験または事前教育として、制御のロジックを考えさせる。このステージの後に、通常のプログラミング授業が位置付けられる。第 3 ステージは、大学上級生を対象とし、テキストベースのプログラミングで、イベント駆動、状態遷移、タスク管理など、応用的な技法を習得させる。第 4 ステージは、大学院や社会人研修を対象とし、グループ作業のプロジェクト管理の手法も含める。本研究室では、この数年、第 2 ステージまでの教育実践を幾つか行っている。

演習内容は、表 2 のプロジェクトに分け、それぞれの学習項目に対応したゲーム課題を用意する。各ゲーム課題には、必要な技術要素が挙げられ、中間目標となる設問も設定される。教育目的、受講対象、実施期間に応じて、プロジェクトやゲーム課題を取捨選択して演習コースを提示する。

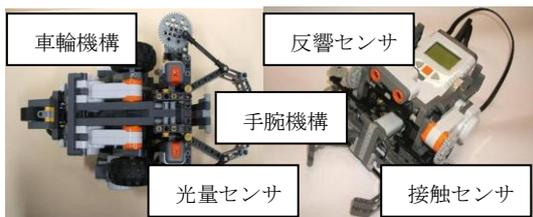


図1 規定ロボットの機構



図2 ビジュアル環境 NXT Software

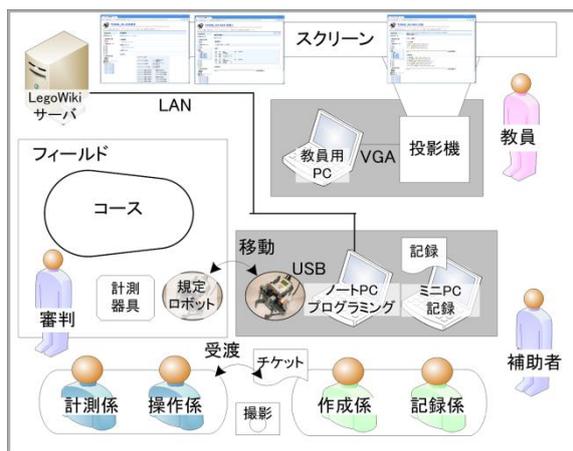


図3 LEGO 演習の教室配置

表1 対象と目的に応じた4段階のLEGO演習

1	プログラム体験	小中学生	ビジュアル環境 (例題修正) パラメタ調整	科学体験祭の展示(2001~) オープンキャンパスの展示(2001~) 各種の体験講座(2003~) 大学への見学デモ(2003~)
2	プログラミング導入 事前教育	高校生 大学新入生	ビジュアル環境 (フローチャート風) 基本制御、イベント駆動	IEICE 学生ブランチ活動(2006~) 大学教養ゼミ(2008) 大学新入生合宿研修(2009~) 高校生への体験授業(2008~)
初中級プログラミング科目				
3	問題解決学習 ソフトウェア開発	大学上級生	C/C++/Java 言語のテキスト環境 タスク制御、関数モジュール	情報環境実験(2010~)
4	プロジェクト管理 ソフトウェア開発	大学院生 社会人研修	Java 言語で Eclipse 環境 オブジェクト指向プログラミング	

表2 プロジェクトの学習項目と課題

番号	テーマ	機構の理解	課題
0	ロボットの組立と実行環境	パラメタ調整, 実験推定	
1	車輪機構の走行特性	順次, パラメタ最適化	図形模走 直線コース, 曲線コース
2	制御構造とイベント駆動	条件分岐, 無限反復, 条件待機 センサ検知, イベント駆動, データ計測	スイッチ トグル, キープ 計測表示 時間, 光量, 回転
3	手腕機構と接触センサ	接触センサ, 近接検知 マルチタスク, データ保持	荷物運搬 箱状物, 球状物 障害排除 箱状物, 球状物
4	反響センサによる位置推定	反響センサ, 遠隔検知 距離測定, 方向定位	障害回避 塔状物, 壁状物 荷物回収 箱状物, 球状物
5	光量センサによる床面検知	光量センサ, 閾値設定 多分岐, 二重反復, 内部状態	領域掃出 箱状物, 球状物 黒線追跡 中央走行, 片寄走行
6	色彩センサによる物体識別	色彩センサ	色彩認識 仕分作業,
7	環境センサによる外界認識	磁気センサ, 近接センサ, 赤外線センサ	探索走行 指南車, 壁際周回
8	データ通信による遠隔操作	赤外線通信, Bluetooth 通信	遠隔操作 2D マウス, 3D マウス
9	力学センサによる姿勢制御	角速度センサ(回転), 加速度センサ(傾斜)	二足歩行 平地, 斜面 二輪走行 平地, 斜面
10	データ通信による協調作業	同期, 双方向通信, 協調動作	救助任務 団体球技 サッカー

2.3. 教室配置と演習手順

第2ステージでの基本的な演習形態では、4名程度のメンバでグループに分ける。教授者の他、数名の補助者を置く。各グループの教室配置は、図3のようになる。教授者は、教卓のスクリーンに演習用 Web ページを映し、課題を説明する。出張授業でローカルにネットワークを構築するときなど、必要に応じて、サーバ管理者を置き、Web ページの更新を行う。事前講義の時間を設ける場合は、Web 上の説明資料を提示し、デモ機を動かしながら、操作や例題を解説する。また、計画シートを配布し、予習として、課題への攻略法を検討させる。

演習では、各グループは、2人ずつ机班と床班に分かれる。机班は、制御プログラミング用のノート PC の操作と、進捗状況の時系列的な報告を分担する。後者は、紙面(設計シート)または記録用のミニ PC で行う。指導係が操作の指導を行う。連絡事項は、タスクごとにチケットと呼ぶ名刺サイズのカードで行う。床班は、プログラムのダウンロード後、フィールド上でロボットを動作させ、時間や距離の計測を行う。その結果を実験シートに記入し、デジカメなどで写真も撮影する。問題点は、チケットを通して机班に報告し、修正させる。審判係が課題の達成を認定する。

床班と机班は、10分程度で交代し、分担のバランスを保つ。これにより、グループの一体感を高め、演習意欲を維持させる。授業の最後に、要点と感想を書かせ、アンケートを実施する。各種のシート、写真、プログラムなどのコンテンツを整理し、競技結果の総括として、課題レポートを提出させる。あるいは、事後発表の時間を設ける場合は、口頭発表の資料を作成させ、グループ単位でのプレゼンテーションを行わせる。これらの活動記録や成果物を総合的に判断して、成績や順位を決め、表彰する。

3. 演習支援システム LegoWiki

3.1. LegoWiki の概要

教育実践を円滑に進めるため、演習を総合的に支援する Web ページ LegoWiki を構築している[5]。教師側には、コンテンツ管理と演習管理の機能を提供する。学生側には、グループ単位の演習総括ページ、課題ごとの課題検討ページ、さらに設問ごとの設問進捗ページを提供する(図4)。LegoWiki は、PukiWiki 上で構築し、入力支援のプラグインを組み込んでいる。これにより、ユーザは Wiki の文法を知らなくても、単なるフォーム入力を行うだけで済む。

3.2. 教師側のコンテンツ提示と演習管理

教師側のページには、コンテンツ提示と演習管理に関するものがある。

授業概要 授業の概要と目的、演習の進行表、NXT Software のマニュアル、NXT ハードウェアの特性と規定ロボットの機構などのコンテンツを掲載する。第2ステージで共通の内容である。主に、事前講義において授業資料として利用し、演習当日までの予習用とする。

教室連絡 演習中に教室全体に連絡すべき注意事項や補足事項があれば、掲載する。

競技速報 課題の進捗状況の速報や、競技大会の暫定結果を公開する。将来的には、各グループ単位にミラーページを置く。また、各設問や課題の完了までの速さや、チケットの発行枚数なども対象とする。

教室総覧 演習中の各グループの活動状況を総覧する。教師が各グループの課題検討ページや演習総括ページへ個別にアクセスしなくてもすむようにする。グループ全体、または各グループへのメッセージや疑問を集約して扱う。ユーザ権限を設定して、教師のみの閲覧とする。

成果評価 設問の達成状況を一覧する。各課題の設問ごとの認定を行う。将来的には、チケット管理と連動させる。ユーザ権限を設定して、

教師のみが入力できるようにする。

意見集計 ユーザ権限を設定して、教師のみが閲覧できるようにする。演習総括ページの学生へのアンケート結果を集計して、表示する。

3.3. 学生側の演習総括ページ

学生側の演習総括ページでは、以下の事項を掲載する。

メンバの登録 演習前に、各グループのメンバを受講番号で登録する。チケットの発行やアンケートの際に、選択できるようにする。登録によって、グループ単位のアクセス制限をかける。

コンテンツ管理 課題検討ページにアップロードされた写真などのコンテンツ、作成したプログラムなどの成果物を管理する。

レポート提出 総括レポートや発表資料のテンプレートを掲載する。作成途中の資料を Web 上で保管する。最終的な完成版の提出を行う。

アンケート回答 演習後に行うアンケートの回答を記入する。既存のプラグインを改良し、テキストボックスによる自由記述とラジオボタンによる選択回答の両方に対応する。

3.4. 学生側の課題検討ページ

学生側の課題検討ページでは、以下の事項を掲載する。

課題提示 ゲーム課題ごとに、最終的な競技課題の内容、要素技術の解説、例題プログラムなどを掲載する(図 5)(図 6)。また、計画・設計・実験の記録シートもダウンロード用に置いておく。現時点では、PDF ファイルへの外部リンクで構成されている。将来的には、Wiki ページ内に簡易表示できるようにする。

設問提示 競技課題の部分練習となる基本問題について、中間目標となる設問の一覧を掲載し、対応する設問進捗ページへのリンクを張る。

進行議論 作業の進行計画や分担をどのようにするかを議論する。既存のプラグインを改良し、1行コメントとして記入する。Twitter の

ように気軽に書き込めるようにする。各コメントは、受講番号や日時で整列される。将来は、テキストだけでなく、戦略を図解で検討するプランニングツリーも活用したい。

コンテンツ登録 演習中に撮影した写真や動画を課題ごとにアップロードする。後で集約して総括レポートに利用する。将来的には、XOOPS などの CMS の導入を検討している。

3.5. 学生側の設問進捗ページ

学生側の設問進捗ページでは、以下の事項を掲載する。

プログラム管理 基本問題のプロトタイプとなる例題プログラムを掲載する。これを基に、各グループが試作したプログラムをバージョンごとにアップロードし、Web 上で保管する。

伝票発行 発生した障害や解決すべき問題点を小分けにし、チケットを発行する。チケットには、優先度、作業内容、担当者、期限などを記入する。

伝票一覧 発行されたチケットの一覧を表示する。チケットのステータスを、提起/着手/完了の3段階で管理する。作業の進行に合わせてチケットを消化していく。競技としての認定が必要な場合は、教師側の審判係が確認する。



図 4 LegoWiki の学生側ページ

4. 第2ステージの教育実践

4.1. SPPの教育実践の概要

第2ステージとして、高松第一高等学校の特別理科コースの2年生に対して、教育実践を行っている。2009年度は、JST(科学技術振興機構)のSPP(サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト)プランAに採択されている。2010年1月下旬から毎週土曜日を使い、事前講義と事後発表を含めた3日間の体系的な教育実践を行った。受講者45名を8グループとして実施した。機器の制約上、1グループ5~6名とやや多かった。事前講義では、高校に出向いて、操作マニュアルを配布し、競技課題の概要を説明した。一週間後の演習では、大学に招いて、午前2時間で課題1、午後4時間で課題2と課題3を実施した。さらに、一週間後に、各グループによる発表会を開催した。

4.2. 各課題の内容

課題1は、直線および曲線のコースからなる図形模走である。予め、コースの構成図形のサイズを計測しておき、左右のモーターの出力と時間を調整して、コースに沿って進む。基本問題では、部分走行の設定を与え、走行特性を理解させる。競技課題では、指定位置での発音と指定時間での停止という任務を加える。

課題2では、制御構造に関する基本例題を10題提示し、パラメタを調整しながら、確認させる。個人単位の取組みになるので、グループの全員が交替しながら進める。他のメンバは、作業記録などの補助を務める。

課題3では、片方の光量センサを色彩センサに替えての黒線追跡である。競技課題の任務として、コース脇の色標識を検知して、自転や発音などを行う。基本問題では、まず純粋な検知走行の高速化を図り、その後、各任務への挑戦とする。高速性、正確性、確実性のバランスを考え、制限時間内での高得点を目指す。

5. まとめ

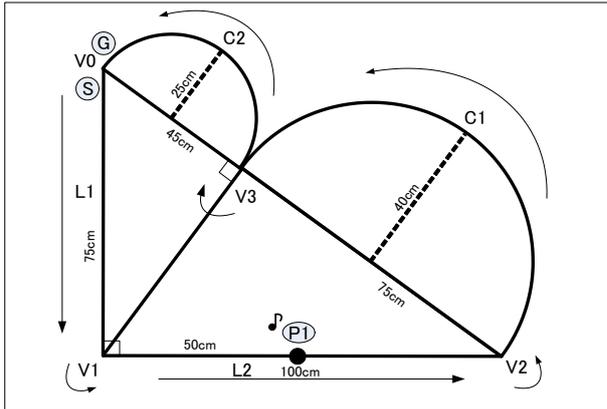
初級プログラミング授業の事前教育として、LEGO ロボットの制御とゲーム課題を題材とするグループ演習を提案している。技術要素を含むゲーム課題を提示し、中間目標を与えて、グループ活動として、段階的な問題解決に取り組ませる。PukiWiki ベースのコミュニケーション支援システム LegoWiki を構築し、戦略の議論や進捗状況の記録を円滑に行わせる。演習作業の進行に合わせたページ構成とし、初心者を使いやすいインタフェースを提供するプラグインを開発した。プロジェクト管理の機能も導入して、グループ作業の活性化を図る。理系高校生への体験授業として短期の教育実践を行うため、教材と Web を整備した。体験授業の結果を分析し、教育効果を検証し、次への改善に繋げる。

文 献

- [1] 大西洋平, 富永浩之, 他, "問題解決学習を目的とした LEGO プログラミング演習支援環境 - 段階的詳細化に基づくゲーム戦略設計支援 -", 信学技報, Vol.106, No.166, pp. 25-30, (2006).
- [2] 加藤総, 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] 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-プログラミング初心者への導入体験としての授業実践-", JSiSE 研究報告, Vol.23, No.6, pp. 56-63, (2009).
- [4] 富永浩之, 加藤総, "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, pp.31-38, (2009).
- [5] 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-コミュニケーション支援システム LegoWiki の構築-", 信学技報, Vol.109, No.335, pp.205-210, (2009).
- [6] LEGO Company, LEGO.com Mindstorms Home, <http://mindstorms.lego.com/eng/default.asp>
- [7] 特集「Mindstorms と高等教育」, 人工知能学会誌, Vol.21, No.5, pp.517-559, (2006).

■ 競技課題 1 図形模走 L字+3字+任務

左右独立方式の走行機構を備えた規定ロボットを使用する。フィールド1 (黄地) 上で、指定された黒線上のコースを確定走行する。コースは、直線および円周の一部であり、距離・半径・角度を予め測定しておいて、図形をなぞるように走行する。光量センサなどは使わず、左右のモーターの出力パワーと時間で調整する。時間の代わりに、モーターの回転数を使ってもよい。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を発生させる。走行点と任務点を合計する。2回の試行で、高い方を最終得点とする。以下のフィールドは、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までの誤差がある。



■ 基本問題 11 図形模走 直線コース Δ字

- 設問 111 図形模走 直線コース 直進
V0 から L1 を走行し、V1 上で停止する。
- 設問 112 図形模走 直線コース 転向
V1 上で、L1 方向から L2 方向へ転向する。
- 設問 113 図形模走 直線コース L字走行
L1 から V1 を経て、L2 を走行し、V2 で停止する。
- 設問 114 図形模走 直線コース 任務走行
V0-V1-V2 と走行する。P1 で 0.1 秒だけ発音しながら通過し、V2 で停止する。

■ 基本問題 12 走行動作 特性実験

- 設問 121 両輪の複合制御
パワーとステアリングの走行特性
- 設問 122 片輪の単独制御
左右のパワーの相違による走行特性

■ 基本問題 13 図形模走 曲線コース 3字

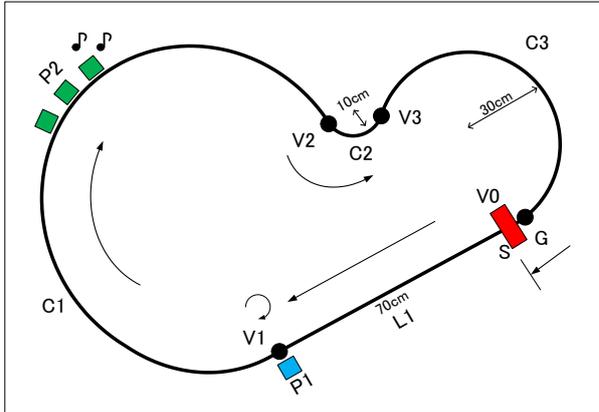
- 設問 131 図形模走 曲線コース 半大円
V2-C1-V3 と走行し、V3 上で停止する。
- 設問 132 図形模走 曲線コース 半小円
V3-C2-V0 と走行し、V0 上で停止する。
- 設問 133 図形模走 曲線コース 3字走行
V2-C1-V3-C2-V0 と走行し、V0 上で停止する。

V0 (S)	開始点	開始	機体を S 上に設置 審判の合図で実行		機体と後輪の位置に注意する。
L1	走行線	直進			[移動]で、操舵を 0 とし、時間/回転数で距離を調整する。 他の区間より速度を調整しやすい。
V1	通過点	転向	V1 上で L2 方向に転向	5 ≤	[移動]で、操舵を左 10 とし、時間/回転数で角度を調整する。 直前まで高速であると、機体や後輪がぶれる。 V1 上に達するだけでなく、左 90 度の転向が必要である。
L2	走行線	直進	L2 上を V2 まで完走	10 ≤	V2 上に達するだけでよい。
(P1)	任務点	発音	P1 上を通過中に発音 P1 上で停止中に発音	10 + 5 +	P1 は、L2 の中点である。全体の時間配分で通過時刻が変わる。 [音]で音高をラに設定する。時間は、0.1 秒とする。 走行中に発音するには[完了待ち]をオフにする。
V2	通過点	転向	C1 の接戦方向に転向	15 ≤	V2 上に達するだけでなく、適切な角度の左転向が必要である。
C1	走行線	曲進	C1 上を V1 まで完走	20 ≤	[移動]で、両輪の出力と操舵を同時に調整する。 [モーター]で左右別々に出力を調整し、[ループ]で時間を指定する。
V3	通過点	転向	C2 の接戦方向に転向	25 ≤	V3 上に達するだけでなく、適切な角度の右転向が必要である。
C2	走行線	曲進	C2 上を G まで完走	30 =	小円の方が調整が難しい。[ムーブ]では粗すぎる。 [モーター]で左右別々に出力を調整し、[ループ]で時間を指定する。
V0 (G)	停止点	停止	停止 ±1 秒以内 停止 ±2 秒以内 停止 時間外	15 + 10 + 5 +	15 秒での停止を目指す。 曲線上は時間調整が難しいので、直線上で調整する。

図 5 競技課題 1 図形模走の演習資料

■ 競技課題 3 黒線追跡 競争+任務

左に色彩センサ、右に光量センサを備えた規定ロボットを使用する。二眼左右方式の中央走行で床面を近接検知する。フィールド3 (白地) 上で、指定された黒線上のコースを検知走行する。コースは、直線および自由曲線から構成される。スタートからゴールまで、約 30 秒で走破する例題プログラムを改良し、高速化と任務の遂行を行う。任務は、青標識での右自転、緑標識での発音、赤標識での停止である。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。以下のフィールドは、模式図であり、距離や角度の実測が必要である。テーブル幅のため、5cm までの誤差がある。



■ 基本問題 31 黒線追跡 中央走行

- 設問 311 黒線追跡 中央走行 30 秒
 例題プログラムを修正し、色彩センサに対応する。黒線コースを時計回りに約 30 秒で走破する。
- 設問 312 黒線追跡 中央走行 25 秒
- 設問 313 黒線追跡 中央走行 21 秒
- 設問 314 黒線追跡 中央走行 18 秒
- 設問 315 黒線追跡 中央走行 16 秒
- 設問 316 黒線追跡 中央走行 15 秒

■ 基本問題 32 色彩検知 認識確認

- 設問 321 色彩検知 計測表示

■ 基本問題 33 色彩検知 任務

- 設問 331 色彩検知 青標識 検知+自転
 V0 から L1 を直進し、青 P1 を検知して時計回りに自転する。
- 設問 332 色彩検知 赤標識 検知+停止
 V1 から C1 を走行し、赤 P3 を検知して、垂直に停止する。
- 設問 333 色彩検知 青標識 検知+自転+復帰
 V1 の直前から走行し、青 P1 を検知して時計回りに自転し、V1 の直後に C1 に復帰する。
- 設問 334 色彩検知 緑標識 検知+通過+発音
 V1 の直後から C2 を走行し、単独の緑標識 P2 を検知して、0.1 秒間だけ発音する。
- 設問 335 色彩検知 緑標識 検知+通過+発音
 V1 の直後から C2 を走行し、複数の緑標識 P2 を検知して、0.1 秒間ずつ発音する。

V0 (S)	開始点	開始	機体を S の真上に設置 審判の合図で実行		機体と後輪の位置に注意する。 開始点 S は、直線 L1 の始端 V0 の直後である。
L1	走行線	直進	V1 まで通過したら (自転前) (5 秒-時間) × 3 点	3Δ ≤	検知走行でも確定走行でもよい。 確定走行の場合は、青検知までの [待機] を使う。
V1 (P1)	任務点	自転	自転して復帰 自転して正方向に脱落 自転して停止/逆走/再転 標識なしで自転	20+ 15+ 5+ 5-	自転前に経過時間を計測する。 青標識は、5cm × 5cm で、L1 の終端 V1 の外脇に置く。 無限自転や黒線脱落を防ぐため、 青検知や自転の直後に調整的な振舞を入れてもよい。
C1	走行線	曲進	V2 まで通過したら (20 秒-時間) × 4 点	4Δ ≤	ほぼ楕円であるが、検知走行でなければならない。
(P2)	任務域	発音	P2 上で標識数だけ発音 標識数と異なる発音 標識なしで発音	10+ 5+ 5-	緑標識は、5cm × 5cm で、C1 の任意の位置で外脇に置く。 個数は、2~3 個で、5cm 以上は離して置く。 マルチタスクを使い、通過しながらの発音とする。 標識の個数だけ発音の回数が明確でなければならない。
V2	通過点				特に標識はないが、経過時間を計測する。
C2	走行線	曲進	V3 まで通過したら (25 秒-時間) × 5 点	5Δ ≤	C2 だけ右折になる。C1-V2-C2 と C2-V3-C3 は S 字になる。 ほぼ小円であり、ここでコースから脱落しやすい。
V3	通過点				特に標識はないが、経過時間を計測する。
C3	走行線	曲進	V4 まで通過したら (30 秒-時間) × 5 点	5Δ ≤	ほぼ中円であるが、検知走行でなければならない。
V0 (G)	終了点	停止	機体が G に垂直に停止 機体が少し傾いて停止	10+ 5+	赤標識は、15cm × 5cm で、L1 の始端 V0 の直前に、 黒線コースを横断して置く。

図 6 競技課題 2 黒線追跡の演習資料