2ZC-05

LEGO Mindstormsマイコンの走行体を用いた制御系のJavaプログラミングのグループ演習における解答プログラムの分析

劉世博† 辻健人† 中井智己† 富永浩之†
香川大学† 香川大学† 香川大学† 香川大学†

1. はじめに

本研究室では，大学情報系の専門課程の必修科目「情報環境実験２」において，2010 年度からLEGOロボットとゲーム課題による制御プログラミングの演習を実施している．2014 年度までは，旧版の NXT をハードウェアとし，擬似マルチタスク機能を拡張した C 言語ベースの RobotC でプログラミングを行っていた[1]．2015 年度からは，新版の EV3 に移行し，Java 言語でのプログラミングに切り換えた[2]．これまでの実施状況を踏まえ，2016年度も実施している．

2. LEGOロボットの制御プログラミング演習

本演習では，ライントレースの走行体に適した規定ロボットを用意する(図 1)．1 グループ 4～5 人とし，2 台の規定ロボットを与え，2ユニットとする．与える課題は，ゲームフィールド上のコースやエリアを走行し，ゲーム感覚の任務要素を実現する．メンバで分担して，攻略法の設計，プログラムの実装，動作の検証を行う．時間による走行点と，達成度による任務点を合計して，実技認定の得点とする．EV3キットへの移行で，規定ロボットも新規に作成した．車輪機構，接触センサと着脱式のバンパー，床下検知の 2 つの色彩センサ，前方と側方に付け替えられる反響センサなどは，ほぼ同じである．

本演習では，これに伴い，ゲーム課題も再構成し，表 1 のように，プロジェクト群として整理した[3][4]．各プロジェクトには，センサの利用法を示した例題プログラム，個々の技術項目に対応した幾つかの基本課題，実技認定を行う総合的な応用課題が用意される．応用課題は，専用のフィールドを使用したゲーム課題である．得点ルールが提示され，任務要素ごとの中間目標を設定している．受講者は，基本問題で制御を理解した後，応用課題のルールを吟味し，任務要素を取捨選択して，攻略法を検討する．

3. 応用課題「図形模走」のルールと技術項目

プロジェクトと応用課題のうち，本論に関連する部分を説明する．プロジェクト２「車輪機構の走行制御」では，基本課題 20「走行特性」で，規定ロボットの走行特性を調べる．左右のモーターの出力と時間を与え，直進・転向・曲進の状況を把握する．ステッピングモーターであるため，時間は回転数でも制御できる．車幅も考慮し，左右の出力差が，曲進の半径や角速度にどう反映されるかをグラフ化する．

応用課題 21「図形模走」では，黒線コース上をシーケンス制御で確定走行する(図 2 左)．前半は直線Ｌ字，後半は半円３字の形状をしたコースである．各グループの 2 ユニットで，前半と後半を分担し，最後に 1 つのプログラムにまとめる．ルールでは，15 秒で，ゴールに正しい姿勢で停止させる．直線の途中の緑タイルで発音する．後半の曲線コースは，走行時間の制御が難しいため，前半の直線コースで調整する．そのため，コースを直進・転向・曲進のエリアに分け，各ステイトを管理するクラスやメソッドを用意することが望ましい．各ステイトで，左右のモーターのパラメタを調整する．2016 年度からは，前半と後半の分離走行も認めることにした．

4. 応用課題「演舞走行」のルールと技術項目

プロジェクト３「光量センサによる近接検知」では，基本課題 30「黒線追跡」で，黒線コースを，ライントレースとして，フィードバック制御で検知走行する(図 2 右)．左右 1 組の光量センサで白黒を判別し，進路を修正する．低速走行では，4 条件の判別で簡単に実現できるが，高速走行になると左右のモーターのパラメタ調整が難しくなる．この課題でも，コースを，直進・大円・逆円・小円などとエリアに分ける工夫が有効である．特に，最初の直進は，確定走行でよく，ハイブリッドな制御の感覚を掴む．

応用課題31「演舞走行」では，光量センサのモードを切り替え，色彩センサとしても利用する．ここでは，赤・青・緑・黄と，基本色のみを判別する簡素なセンサとして扱う．実際には，センサオブジェクトのメソッドを切り替えればよ

Program Analysis of Game Projects for Group Exercises of Java Programming about Robot Control with LEGO Mindstorms
†Shibo RYU, Kagawa University
†Kento TSUJI, Kagawa University
†Tomoki NAKAI, Kagawa University
†Hiroyuki TOMINAGA, Kagawa University

Copyright ©2017 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

い．コース脇の色タイルを認識し，自転や発音の任務要素をこなす．接触センサにより，ゴールの障害物で停止する．基本的には，「黒線追跡」のプログラムを再利用し，拡張させる．走行速度は，誤認識を防ぐため，落とさなければならない．ライントレースしながらの色タイルの認識には，マルチタスクによる並列処理が必要である．また，外光の影響を受けるので，キャリブレーションが必要である．

5. 2016年度の課題の解答プログラムの分析

2016 年度の演習では，「図形模走」と「演舞走行」を実施済である．本論では，その解答プログラムの傾向を分析する．静的解析ツールを用い，様々なコード指標を求めた．表 2 は，S 実技認定の得点，A クラス数，B メソッド数，C ステートメント数，D メソッド数/クラス数(B/A)，E ステートメント数/メソッド数(C/B)である．

「図形模走」(表 2 左)では，得点が高い班の多くは，指標 B が大きく，指標 E が小さい．これは，メソッドの複雑さが低く，コードの品質が良いと言える．特に，K04 のコードは，目視でも，それが確認できた．一方，K05 と K09 は，得点は高いが，コードの整理が不十分であった．また，全般的に，モーターの出力値などがマジックナンバーとして残っているものが多かった．

「演舞走行」(表 2 右)では，全般的に，マジックナンバーの出現が減り，変数やメソッドなどの識別子も分かりやすくなっていた．K01 は得点も向上し，品質も改善されていた．K06 は，指標は悪くないが，得点が低く，機能の実装が十分でなかった．K09 は，指標が大きく改善されていた．K02 は，得点の割に，指標が後退していた．

一般に，機能を改良するときに，一時的に品質の指標が悪化する傾向がある．その後，得点を維持しながら，リファクタリングを行い，指標が改善される．時間的な制約により，機能と品質の一方への対応が不十分なままになってしまう傾向がある．これを踏まえた演習中の指導や，グループ内の作業計画の相談が必要である．

6. おわりに

大学情報系の応用 Java プログラミングとして，LEGO ロボットの制御を題材とするグループ演習を実践している．組込制御の基礎，モデリング設計，ソフトウェアの開発工程を内容とする．授業のカリキュラムとして，5 つのプロジェクトを設け，技術項目を活用するゲーム課題を提示し，プログラミングのポイントを論じた．

2016 年度の演習において，「図形模走」と「演舞走行」の解答プログラムに着目した．静的解析ツールを用いてコード指標を求め，実技認定の得点と絡めて分析を試みた．以降の課題も含め，より詳細な分析を進めたい．

参考文献

1) 加藤聡, 富永浩之：LEGO ロボットの制御プログラミングを題材とした問題解決型の応用演習 -ROBOTC による基本制御の練習問題の教材検討と授業実践-, 情処研報, Vol.2011-CE-108, No.3, pp.1-10 (2011).

2) 中井智己, 辻健人, 富永浩之：LEGO ロボットの制御プログラミングとゲーム課題の攻略を題材とする Java グループ演習の授業設計, 情報処理学会 第 78 回全国大会, Vol.78, pp.893-894 (2016).

3) 劉世博, 中井智己, 富永浩之：LEGO Mindstorms マイコンの走行体を用いた制御系の Java プログラミングの演習支援 -応用課題の演習環境の構築と授業実践のアンケートの分析-, 信学技報, Vol.116, No.126, pp.13-18 (2016).

4) 中井智己, 内山豊, 辻健人, 富永浩之：LEGO EV3 を制御する leJOS 上のライブラリの構築とゲーム課題のための Java サンプルの提供, ゲーム学会 第 14 回全国大会, Vol.14, pp.27-30 (2016).

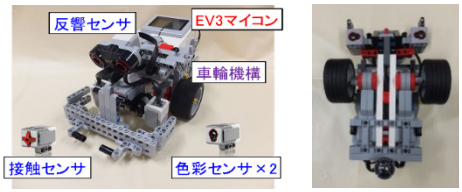

図 1 EV3 版の規定ロボット

表 1 授業のカリキュラム

週	プロジェクト	課題
1	イベント駆動とタスク管理	10 基本制御
2	車輪機構による走行制御	20 走行特性 21 図形模走
3	光量センサによる近接検知	30 黒線追跡 31 演舞走行 32 領域掃出
4	反響センサによる遠隔検知	41 目標接近 42 目標周回
5	色彩センサによる階調識別	50 色彩較正 51 車庫入出
6～8	総合課題の競技大会	01 外周走破 02 内周走破

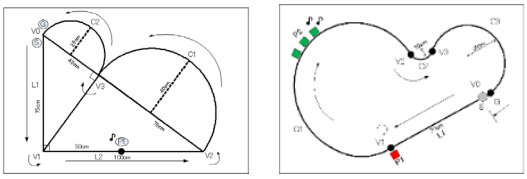

図 2 図形模走と演舞走行ののフィールド

表 2 図形模走と演舞走行の得点とコード指標

班	S	A	B	C	D	E
K01	50	5	5	65	1.0	13.0
K02	80	5	13	113	2.6	8.7
K03	65	4	6	62	1.5	10.3
K04	80	4	18	81	4.5	4.5
K05	80	6	6	94	1.0	15.7
K06	70	5	11	74	2.2	6.7
K07	45	6	6	58	1.0	9.7
K08	70	8	19	73	2.4	3.8
K09	80	4	7	101	1.8	14.4
K10	80	2	16	72	8.0	4.5

班	S	A	B	C	D	E
K01	105	5	8	84	1.6	10.5
K02	100	3	7	91	2.3	13.0
K03	90	3	6	49	2.0	8.2
K04	110	4	14	86	3.5	6.1
K05	110	1	3	37	3.0	12.3
K06	75	4	11	55	2.8	5.0
K07	105	6	10	131	1.6	13.1
K08	105	8	20	126	2.5	6.3
K09	95	2	5	47	2.5	9.4
K10	105	3	22	143	7.3	6.5

Copyright ©2017 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.