Vol.2014-CE-127 No.5
2014/12/6

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–

水島聡哉[†1]　高橋知希[†1]　富永浩之[†1]

高大連携の体験講座として, LEGO ロボットの制御を題材とする初級プログラミングのグループ演習を提案している．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．実技認定や競技大会などで意欲を刺激する．遠隔学習を導入し，継続的な自学自習を支援するため，シミュレーションを含んだ統合教材を構築する．本論では，課題の攻略法を検討する計画フェーズと，作業状況を記録する演習フェーズの実装について述べる．試作版に対する試用実験を行い，改良すべき点を議論する．

Programming Exercises with a LEGO Robot and Game Subjects as Preliminary Educational Experience for High School Students - Functions in Learning Materials about Discussion of Strategy and a Record of Progress -

TOSHIYA MIZUSHIMA[†1]　TOMOKI TAKAHASHI[†1]　HIROYUKI TOMINAGA[†1]

We have proposed a group exercise using LEGO Mindstorms robot kit for introductory programming experience. It is a pre-educational event in college cooperated with high schools to promote students' interest in information engineering. We have managed a support site LegoWiki with some online contents. We also construct integrated learning materials with multimedia simulation to try strategies of a game problem. We discuss several functions of a planning phase and a practice phase. We developed a prototype and carried out preliminary experiments.

1. はじめに

近年，高大連携の一環として，高校への出前講座や大学での体験授業が盛んに実施されている. 高校生にとっては，大学での授業や研究に関心を高め，進路選択のきっかけとなる重要な機会となっている．大学理工系との連携において，JST(独立行政法人 科学技術振興機構)による SPP(サイエンス・パートナーシップ・プログラム)や SSH(スーパー・サイエンス・ハイスクール)の認定を受けた高校では，より体系的な取組みも行われている[1][2].

本研究室でも，高大連携の一環として，LEGO ロボットの制御プログラミングを題材とする体験講座を企画し，幾つかの高校に対して 2008 年度より継続して実施している．1 クラス分の高校生に対するグループ演習を 1〜3 日の短期イベントとして，基本練習からゲーム課題の競技大会や成果発表を含めて実施している[3][4]．2008 年度は，試行的な取組みであったが，2009 年度から SPP や SSH の一環として実施し，それぞれほぼ 3 回からなるイベントとして，演習のフレームワーク確立した[5]．2011 年度からは，学内に LEGO 演習を行える教室が確保され, 機材も大幅に増え，40 名程度の生徒数にも対応できるようになった．

一方，日程や費用の面での問題は残されている．事前講義と事後総括では補助学生を連れて機材を持って高校に出張し，全体演習では土曜などにマイクロバスで高校から数十名の生徒が来学している．そのため，実質の活動時間をできるだけ確保しつつ，補助学生の負担を減らす工夫が必要になっている．また，飛び飛びの実施になることから，教育内容の継続性を持たせるため，時間や空間の制約に捉われない形態で, 高校側との連携を強めなければならない.

これまでの実践結果と以上の問題点を踏まえ，効果的な演習方法への改善，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[6]．先行研究では，演習支援の LegoWiki ページを構築して, 実際の教育実践の結果を分析した[7][8]. また，遠隔での自主学習を想定し，LegoWiki に掲載するマルチメディアやシミュレーションのコンテンツを試作した[9][10]．本研究では，これらを統合化する教材 LegoSim を開発し，実用を目指す[11].

2. LEGO プログラミング演習の概要

本演習の教材には，LEGO 社と MIT が開発した教育玩具 LEGO Mindstorms を用いる．現在のキットは，NXT マイコン, モーターや各種のセンサを含むブロックで構成される．これらを組み合わせて，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（図 1）．制御プログラムは PC 上で作成し，USB ケーブルで NXT

†1 香川大学
Kagawa University

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

マイコンに転送する．多様なプログラミング環境が用意され，幅広い教育現場で使われている．

LEGO 講座は，1〜2 ヶ月の間に 3〜4 回程度の短期集中で開催する．1 回目の事前講義では，高校に出張し，2 時間程度で，NXT キットと規定ロボット，開発環境 NXT Software と支援ページ LegoWiki, 演習内容の課題について，実演を交えて解説する．2 回目の本番演習では，大学に来てもらい，5 時間程度で，2〜4 のプロジェクトに取り組ませる．各プロジェクトは，60〜120 分とし，技術解説，基本練習，応用課題から構成する．応用課題は，ゲーム要素を考慮し，達成基準や配点を設定する．3 回目の事後総括では，高校に出張し，グループごとに口頭発表を行う．作業過程を振り返り，進捗報告と実技認定を反省する．これらの活動記録や実技得点を総計し，成績と順位を決め，表彰する．現在は，事前講義と事後総括を，Skype によるビデオ通話を用い，遠隔で実施することを検討している．

本番演習は，4〜6 人のグループ単位で行う(図 2)．まず，LegoWiki で，ゲームフィールドの図解やビデオなどのマルチメディア教材を提示しながら，10 分程度で技術要素の解説を行う．次に，応用課題の部分演習となる数問の基本練習に取り組む．基本練習は，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．規定ロボットと PC は 2 台ずつ用意し，グループ内で 2 つのユニットを作り，並行して進める．ユニット内では，PC でのプログラミング，ロボットの試走の記録などを分担する（図 2）．進捗状況は，作業シート(計画・設計・実験）に記入する．応用課題では，グループで協力して取り組み，実技認定を受けて合格となる．

3. プロジェクトとゲーム課題

本演習で扱う主なプロジェクトとゲーム課題を挙げる．プロジェクト 2 は，車輪機構の走行制御である．応用課題 2 は，直線および曲線のコースからなる図形模走である(図 3 左)．コースを構成する図形要素を計測しておき，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．色彩センサを使わない確定走行である．基本練習では，部分走行の設問を与え，走行特性を理解させる．応用課題では，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．時間の代わりに，モーターの回転数を使ってもよい．

プロジェクト 3 は，色彩センサによる近接検知である．応用課題 3 は，中央走行による黒線追跡である(図 3 右)．左右のセンサが黒線をまたぎ，両方が白を認識するとき直進する．左右どちらかが黒を認識すれば，コースからずれているので，元に戻るように曲進する．直進のスピードと，曲進の角度や時間の調整が難しい．また，コース脇の色標識を検知して，自転や発音などを行う．基本練習では，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．任務要素は，青タイルによる自転，緑タイルによる発音，赤タイルによる停止である．途中でコースアウトした場合は，走行関門までのタイムによって，部分点が与えられる．

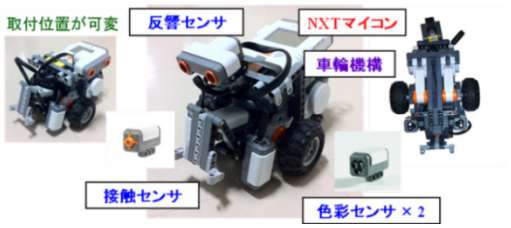

図 1 LEGO 演習の規定ロボット

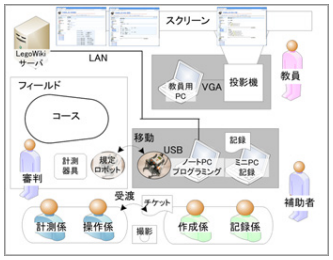

図 2 本番演習の教室配置

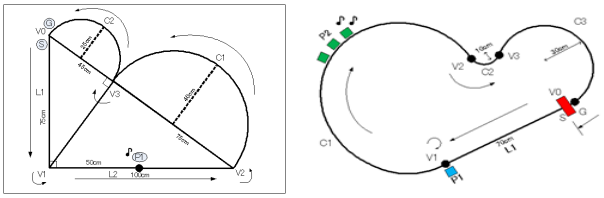

図 3 図形模走と黒線追跡

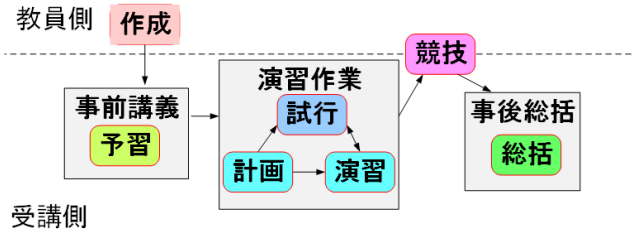

図 4 LegoSim のフェーズの構成

4. 統合教材 LegoSim の構成とコンテンツ

演習支援ページ LegoWiki では，演習全体や各課題の様々な資料をオンライン化して掲載している．演習全体についての資料は，規定ロボットや NXT Software の操作方法の動画，課題説明や得点配分などの図解である．また，ファイルの読込み，ファームウェアの更新，ブロックの選択と配置などについては，操作画面をキャプチャした．これらにより，演習中に生じた疑問を，自分達で解決できるようにする．各課題に関しては，ゲームフィールドの図解，統一的なフォーマットによるルール表，設問ごとの詳細を掲載している．また，課題の目標をイメージしやすいように，模範実行のアニメーションや動画も取り込んだ．

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

さらに，シミュレーションを取り入れた教材や，Web ブラウザを通して操作する対話的コンテンツも構築した．コースの実走前に，パラメタ調整による予測走行をシミュレーションする．また，中間目標による得点の目安を表示する．利用者は，規定ロボットが無い環境でも事前学習で行った内容を復習できるようにする．遠隔教育を可能にし，継続的な事前学習を促進する．また，規定ロボットが手元にある状況では，対話的コンテンツを用いて，実装前にパラメタ推定を行う．これにより，演習時間内で実現する任務を予め検討するなど，トレードオフの協議を支援するツールとしても利用する．

本研究では，上記のコンテンツを含み，シミュレーションを中心とする統合教材 LegoSim を提案する．機能は，利用方法に応じた 7 つのフェーズに分けて整理する（図 4）．教員用の作成フェーズでは，事前に，課題ごとの教材の構築を行っておく．受講者は，グループ単位で統合教材を利用する．予習フェーズでは，課題のルールを理解する．計画フェーズでは，コースの図解を用いて，課題の攻略法を検討する．試行フェーズでは，ゲーム課題の任務をルールに基づいてシミュレーションできるようにする．演習フェーズでは，実際の進捗に従って，作業シートへの記入を行う．競技フェーズでは，審判シートへの記入と課題の自動採点を行う．総括フェーズでは，口頭発表の支援を行う．

先行研究では，教授側の作成フェーズの実装を行った．本研究では，受講側として，事前講義での予習フェーズと，本番演習での計画・試行・演習の各フェーズの開発を進めている．対象とするゲーム課題は，図形模走，黒線追跡，領域掃過の 3 課題とする．現在は，主に図形模走に対して，実際の教材を構築している．

5. 各フェーズの機能

予習フェーズでは，課題概要，学習項目，設問詳細，攻略方針の 4 つのコンテンツを提示する（図 5）．攻略方針は，これまで口頭での指導のみで文書化していなかったので追加した．タブ形式やアコーディオン形式を取り入れ，柔軟な表示とする．本番演習の各フェーズでは，オンライン化された作業シートとの連携を強める．

計画フェーズでは，ゲームフィールド上の記入欄と計画シートを融合し，図に書き込めるようにする（図 6）．図形模走では，攻略法を記入する欄を走行区間ごとに区切り，部分ごとに分けて考えることを意識させる．コース上の走行区間をクリックして，その部分の攻略法を記入するテキストボックスを開く．この内容は，ページ下部の全体の攻略法の一覧に反映される．攻略法の検討が終わった後，走行区間ごとにその部分を作成する担当者と作成するにあたっての作業時間を明記させる．走行区間ごとに担当者を決めさせることで，分割してプログラムを書くということを意識させる．

試行フェーズは，これまでのシミュレーション教材の改良である（図 7）．先行研究では，黒線追跡に対して，単独のシミュレーション教材を試作していた．実装には，JavaScript と jQuery を用いている．さらに，シミュレーションのパラメタや結果を記録し，後から再現するため，JSON によるデータ形式を定める．

演習フェーズでは，設計シートと実験シートをオンライン化して統合し，LegoWiki 上で簡単に記入できるようにする（図 8）．1 回の設計に対する複数の実験を整理しやすいようにする．したがって，計画フェーズで検討した攻略法を基に，各走行区間の走行パラメタを確定し，実際に走行させた結果を記載する．タブ形式のメニューで，複数の設計シートを切り替えることができ，複数回の実験を表形式で管理することができる．区間ごとの走行結果に対し，成功なら OK，失敗なら NG をラジオボタンで記入する．実験における失敗箇所にはメモを記入する．このメモには，失敗の状況や考えられる原因などを記入する．実験を行った時間を記述する時には，ボタンをクリックすることで現在の時刻が自動的に表示される．

6. 計画フェーズと演習フェーズの試作と評価

計画フェーズと演習フェーズの試作版について，香川大学の学生 5 人を対象に試用実験を行い，意見を募った．計画フェーズについては，攻略法の書き方が分からないという意見が非常に多かった．攻略法の書き方は，「速度 100 で 2.15 秒の直進で 75cm 進む」のような具体的な記述を想定していた．そのことを学生に説明したが，モーターのパワーと進む距離の関係が分からないので，そんなに詳しくは書けないという意見が出た．次に，コース上のクリックできる部分がどこか分からないので，色を変えるなどの視覚的な情報がほしいという意見が集まった．また，メンバ間の分担を決める際に，やる気のある人とない人で，仕事の偏りが発生する可能性があるとの指摘があった．

改良すべき点として，具体的な記述の参考となる情報を記載する．例えば，攻略法の書き方の例，タイヤの円周と進む距離の関係，LEGO ロボットの転回の方法などである．次に，コース上のクリックできる部分を，文字の色を変えるなどで，視覚的に分かりやすくする．また，分担の割合を明示し，大きな偏りがないように促す．

演習フェーズについては，走行区間のどの部分が OK/NG かということが一目で分かりにくいという意見が多かった．次に，時間の記述を行うボタンの押し間違いや押し忘れに対応できるようにするために，時間の記述をユーザ側で書き換えられるようにしてほしいという意見が出た．また，走行区間 1 つずつに OK や NG のチェックを入力するのが面倒なので，まとめて入力したいという意見が出た．

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

改良すべき点として，次の 3 つが挙げられる．1 つ目は，OK と NG で背景色を変更し，どちらかを一目で区別できるようにする．2 つ目は，実験時刻の記述をユーザ側で行えるようにする．この時，現在の時刻を自動で記述するボタンを設置しておく．3 つ目は，走行に成功した区間をチェックする時間を短縮するために，複数の区間をまとめてチェックできる仕組みを構築する．

7. おわりに

高大連携の一環として，LEGO ロボット制御とゲーム課題を題材とするプログラミング導入の体験講座を提案している．事前講義，全体演習，事後総括を含んだ短期集中イベントとして実施する．技術要素と学習項目を整理し，基本問題から応用課題までを体系化する．グループ単位でプロジェクトに取り組み，チーム対抗の競技大会を開催する．

演習支援ページ LegoWiki を運営し，様々なドキュメントやマルチメディア教材を掲載している．ゲーム課題の攻略法を検討させるシミュレーション教材を中心に，これらのコンテンツやオンライン化された作業シートを連携した統合教材 LegoSim を提案する．現在，受講側の各フェーズの開発を進めている．今後は，試作版の試用実験の結果を踏まえ，改良を行う．

参考文献

1) 科学技術振興機構 理数学習推進部，サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト, http://www.jst.go.jp/cpse/spp/
2) 科学技術振興機構 理数学習推進部，スーパーサイエンスハイスクール, http://www.jst.go.jp/cpse/spp/
3) 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)
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 －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)
5) 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, pp.31-38, (2009)
6) 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 講座における教育実践－", 情処研報, Vol.2012-CE-118, No.18, pp.1-7, (2013)
7) 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)
8) 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)
9) 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, pp.137-142, (2011)
10) 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)
11) 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 －課題の攻略法をシミュレーションさせるマルチメディア教材の試作－", 信学技報, Vol.113, No.482, pp.53-58, (2014)

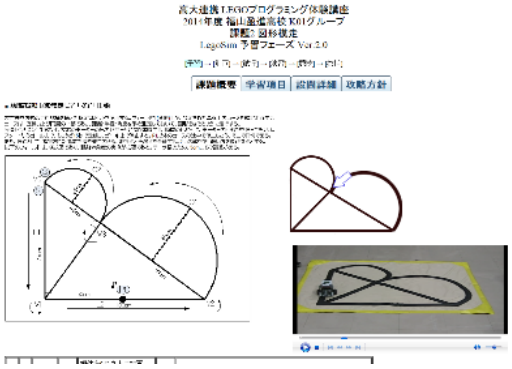

図 5 予習フェーズの資料提示

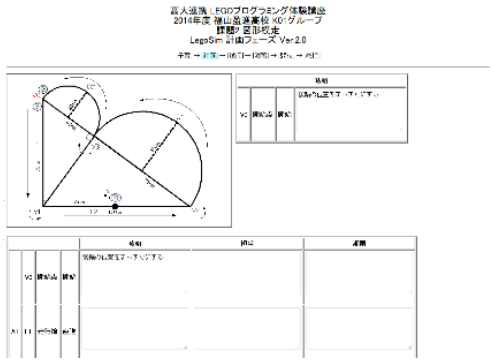

図 6 計画フェーズの計画シート

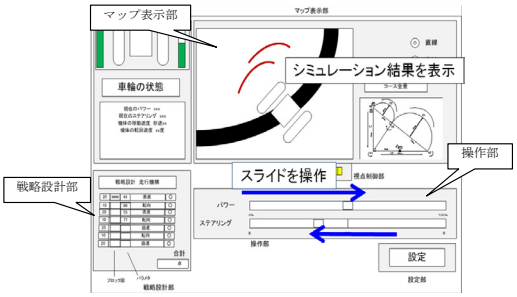

図 7 試行フェーズのシミュレーション

図 8 演習フェーズの設計シートと実験シート

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan