Vol.2010-CE-105 No.5
2010/7/10

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 - 事前学習から事後発表までを含む理系高校生への教育実践 -

加藤 聡[†]　小谷 猛房[‡]　富永 浩之[†]

初級プログラミング授業への導入として，LEGO ロボットの制御とゲーム課題を題材とする問題解決型のグループ演習を提案している．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．運用実験として，理系高校生への教育実践の成果を報告する．事前学習で技術要素を理解させ，当日演習では中間目標を与えて段階的に取り組ませた．最後に，事後発表として成果報告会を実施した．

Programming Exercises for Problem Solving Learning with a LEGO Robot and Game Subjects - An Educational Practice for High School Students with Pre-lecture and Oral Reporting -

So KATO[†]　Takefusa KOTANI[‡]　Hiroyuki TOMINAGA[†]

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 carried out an educational practice with three lessons for high school students in an advanced science class. We had a pre-session for a lecture to make them understand technical elements. In the main day, students tried several basic exercises and advanced game projects. And we held a game contest finally. After the day, students had a post-session for oral presentation.

1. はじめに

近年，大学情報系学科の新入生においても，プログラミングへの興味が持てない学生が増えている．そのため，演習授業での学習意欲を喚起するため，体験的な事前教育が必要となってきている．本研究では，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ことを目的とし，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，幅広い教育現場で使われている[7].

我々は，対象とする学習者とプログラミング教育における位置付けから，表 1 の 4 段階を設け，教材構築や演習方法を整理している．特に，第 1 段階のプログラム体験と第 2 段階のプログラミング導入に相当する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，SPP(サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト)の一環として実施した第 2 段階の演習について，報告する．

表 1 LEGO 演習の 4 段階と教育実践

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	

† 香川大学工学部
Faculty of Engineering, Kagawa University
‡ 高松第一高等学校
Takamatsu-Daiichi High School

ⓒ 2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-CE-105 No.5
2010/7/10

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，ライント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し，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．

演習内容は，プロジェクト単位に分け，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．

2.2. 教室配置と演習手順

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．

2.3. 演習支援システム LegoWiki

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．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．LegoWiki のページ構成は，以下の通りである．

● **教師側　コンテンツ提示と演習管理**
○ 授業概要　授業の概要と目的，演習の進行表，ソフトのマニュアル，ロボットの特性
○ 教室連絡　演習中の注意事項や補足事項
○ 競技速報　課題の進捗状況，競技大会の暫定結果
○ 教室総覧　教師のみが閲覧する各グループのモニタリング
○ 成果評価　教師のみが成果の評価を記入
○ 意見集計　教師のみが閲覧するアンケート結果の集計表示

● **学生側　演習総括**
○ メンバ登録　グループの編成とメンバの受講番号の登録
○ コンテンツ管理　各種シートやプログラムなどの成果物を保存
○ 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用意，完成版の投稿
○ アンケート回答　自由記述と選択回答の両方に対応

● **学生側　課題検討**
○ 課題提示　競技課題の内容，要素技術の解説，例題プログラム，作業シート
○ 設問提示　要素技術の部分練習となる基本設問の一覧
○ 進行議論　作業の進行計画や分担を 1 行コメントで記入
○ コンテンツ登録　作業風景や競技動画などをアップロード

ⓒ 2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-CE-105 No.5
2010/7/10

3. SPP での教育実践

3.1. 概要

本研究の提案に基づき，高松第一高等学校の特別理科コースの 2 年生に対して行った体験授業について報告する．この体験授業は，2008 年度から始めているが，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 に採択された．2010 年度は，同校の SSH(スーパーサイエンスハイスクール)の一環として，実施する予定である．2009 年度は，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とした．受講者 45 名を 8 グループに編成した．機器の制約上，1 グループ 5～6 名とやや多くなったが，設問を増やして，分担させることで対処した．事前講義は，高校に出向いて，2 時間の出張授業とした．一週間後の演習では，生徒を大学に招いて，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高校で開催した．

3.2. 事前講義

事前講義は，2010 年 1 月 23 日（土）に実施した．大学教員 1 名，補助学生 4 名，高校教員 3 名が担当した．教室は，インターネットに接続可能な PC 端末室を利用し，グループ単位の座席とした．以前の演習では，当日の説明が多すぎ，能動的なグループ活動への意欲を妨げる要因となっていた．そこで，別の日を設けて，概要を理解させ，ゲーム課題を予告して，期待感を持たせるようにした．まず，LegoWiki のメンバ登録ページで，グループと各自の受講暗号を登録した．受講番号は，ユーザ名として，記入者の識別に用いる．生徒の氏名が直接には分からないようにするためでもある．次に，教材コンテンツから，説明資料(図 1)を提示し，LEGO 演習の概要，LEGO ロボットの動作説明，NXT ソフトウェアの操作説明を行った．生徒は，授業の合間に，PC 端末室を自由に使えるようであったが，高校側のアクセス環境を考慮し，マニュアルなどの印刷資料も配布した．動作確認として，予めダウンロードしておいたプログラムを動作させ，規定ロボットの走行の仕組みを理解させた．予備演習として，簡単な図形に沿って走行するプログラムを作成させ，基本的な操作に慣れさせた．また，色彩センサによる色検知を体験させ，外光の影響や認識の精度を確認させた．さらに，光量センサによる黒線追跡や,加速度センサによる二輪走行の実演を行った．最後に，実際の競技課題である任務付きの黒線追跡の概要を紹介し，演習当日までに戦略のアイデアを検討するように指示した．事前講義の時点では，LegoWiki のページの一部が未完成であったが，徐々に公開していく旨を説明した．

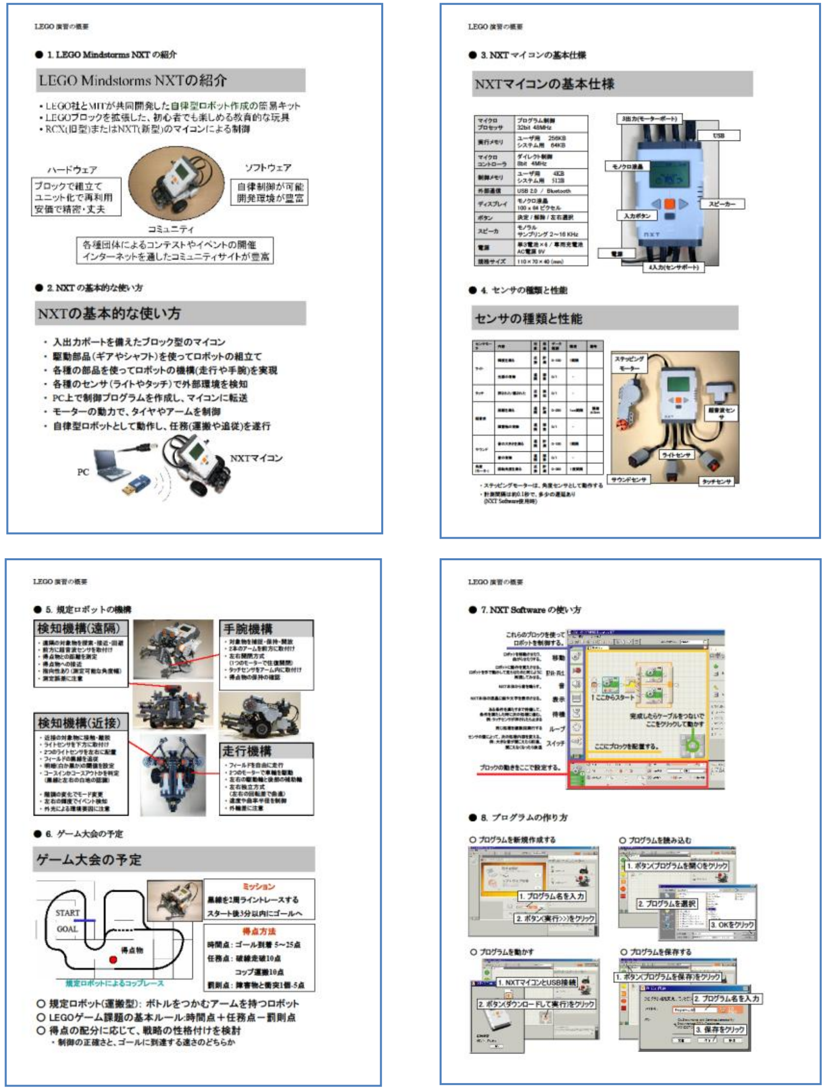


図 1　教材資料(LEGO 演習の概要)

ⓒ 2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-CE-105 No.5
2010/7/10

3.3. 課題1 図形模走

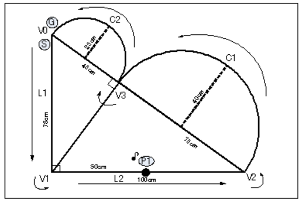
課題 1 は，直線および曲線のコースからなる図形模走である．予め，コースの構成図形のサイズを計測しておき，左右のモーターの出力と時間を調整して，コースに沿って進む．基本問題では，部分走行の設問を与え，走行特性を理解させる．競技課題では，指定位置での発音と指定時間での停止という任務を加える．

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 2 課題 1 図形模走

3.4. 課題2 制御構造

課題 2 では，制御構造に関する基本問題を 10 題提示し，パラメタを調整しながら，確認させる．学習項目は，待機構文とイベント駆動，反復・選択・待機構文の組合せ，マルチタスクによる並列動作，ステッピングによるモーター制御である．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．

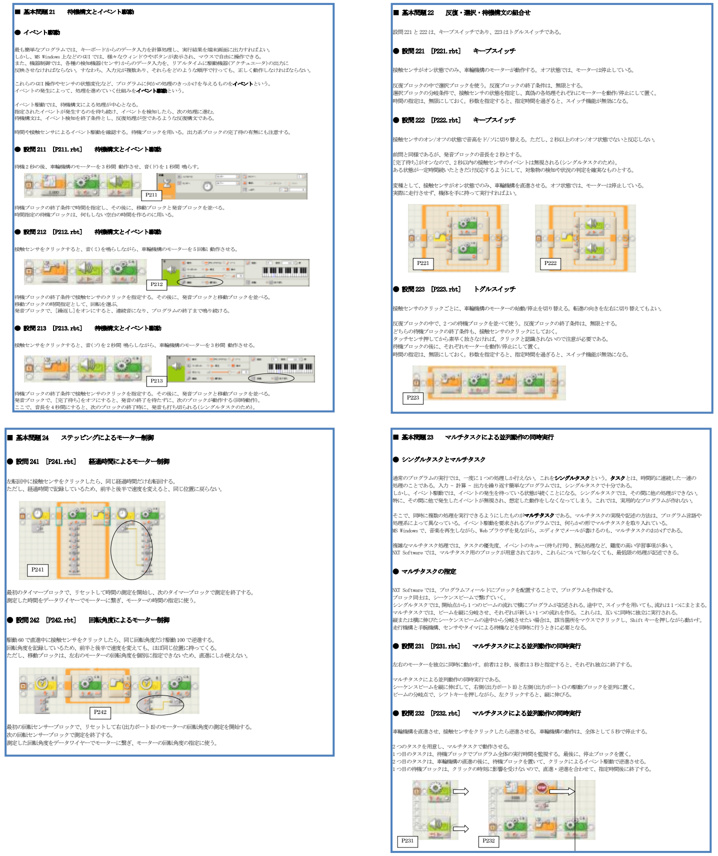


図 3 課題 2 制御構造

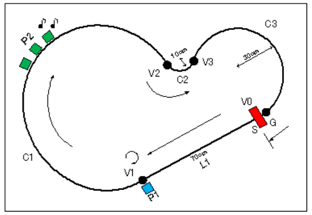
ⓒ 2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-CE-105 No.5
2010/7/10

3.5. 課題3 黒線追跡

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．

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．テープ幅のため，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 を検知して時計周りに自転する。
● 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 を検知して時計周りに自転し、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

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、L 1 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 4 課題 3 黒線追跡

3.6. 事後発表

事後発表は，2010 年 2 月 6 日（土）に実施した．演習の総括として，各グループによる口頭発表会を開催した．演習から一週間後で余り時間がないため，テンプレートとなる PowerPoint ファイルを用意した(図 5)．内容は，各課題ごとに，攻略と設計，結果と分析を，図解を交えて表現する．発表時間は 10 分程度で，質疑の時間も設けた．発表は，大学教員 1 名，補助学生 1 名，高校教員 2 名の 4 名で審査した．審査項目は，資料の構成と表現，発表の態度と質疑で，5 段階で評価委し，全員の点数を合計した．さらに，競技大会の得点，作業シートによる活動評価，口頭発表の評価を合計し，総合成績とした．上位陣に対する表彰式を行い，審査側が全体への講評を述べた．

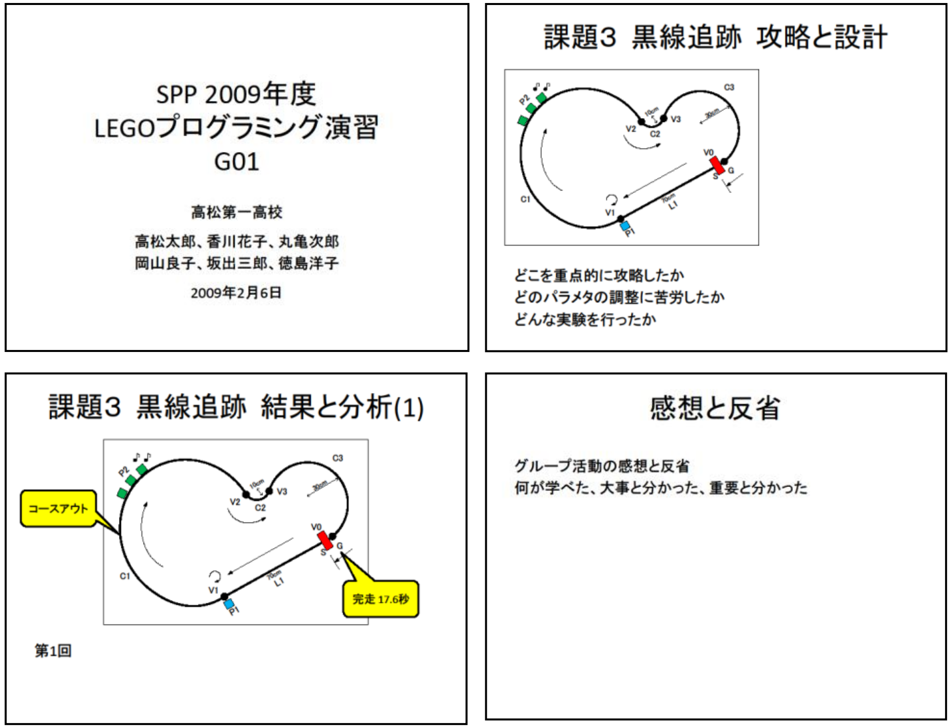


図 5 発表資料のテンプレート

ⓒ 2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-CE-105 No.5
2010/7/10

4. アンケート結果と成果物の分析

4.1. 競技大会における実技評価

演習では, 課題ごとに達成状況を評価する実技審査を行った. 各グループの試走に, 2 名の審判が付き，ポイントの通過時間と完走時間を計測し，各任務の達成判定を記録した．課題３については，教室全体で実技大会として行った．

課題１　図形模走

午前の最後に実施した．2 回の試走で，高い方の得点を採用した．基本的には，パラメタを変更するだけであり，事前講義で伝えていたように，二分法を利用して適切なパラメタを求めていた．

上級者向けに, 走行中に発音するという, マルチタスクを利用した任務も提示したが, ８グループ中，３グループができていた．

課題２　制御構造

午後の最初に実施した．10 題の設問に対し，完了するたびに，審判がチェックしていった．全員が最低１つの設問に解答するように，交替させた．個人単位の評価で, 手間取る学生がいると, 他の学生が待たされることになり, 余り盛り上がらなかった. 通常の演習より，1 グループの人数が多かったことも影響し，中には飽きていた生徒もいた．

課題３　黒線追跡

午後の最後に実施した．2 つのコースを用い，2 チームをランダムに選んで，それぞれのコースで同時に試走させた. 試走前に, どのような攻略を行うのかコメントさせ, 他のグループのメンバにも注目させた．3 回の試走で得点の高い 2 回分の合計を課題３の得点とした．1 回の試走ごとに 5 分程度の休憩を挟み，プログラムの修正や差替えを許容した．2 回目からは得点順のペアとした．任務のうち，発音と停止線は，どのチームも挑戦していた．全ての任務を攻略できていたのは，１チームのみである．本来はマルチタスクを使用するべき箇所を，ループとタイマを利用して逐次処理で攻略できるようにしていた．ペアによる同時試走は，対抗意識を刺激し，非常に盛り上がった．

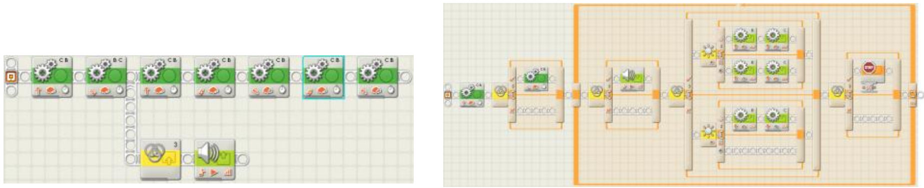


図 6 課題のプログラム例

4.2. 作業シートによる活動評価

計画シートには，攻略のアイデアを時系列で書き込ませた．ゲームフィールドにも図示させた．課題３では，１人１枚としたが，それぞれのアイデアを融合させるような使い方には至らなかった．設計シートは，机班がプログラムの方針やパラメタを記入するもであるが，徐々に慣れていき，細かい変更なども記述で来ていた．実験シートは, 床班が実行結果として, 時間や距離を計測し, 失敗箇所を記録するものである. こちらも，単に失敗箇所の位置を記録するだけでなく，推定される原因なども書き込み，机班とのコミュニケーション手段として機能していた．上位陣は，問題点の明確化により，修正・変更の効率化につながっていた．また，作業シートへの記入は，それなりに忙しく, グループ演習で見られがちな「お客さん」状態の学生は少なかった. ただし，戦略を考えたり，実行確認をするたびに，作業シートの枚数が増えていったため，管理の仕方が不十分になる面もあった．

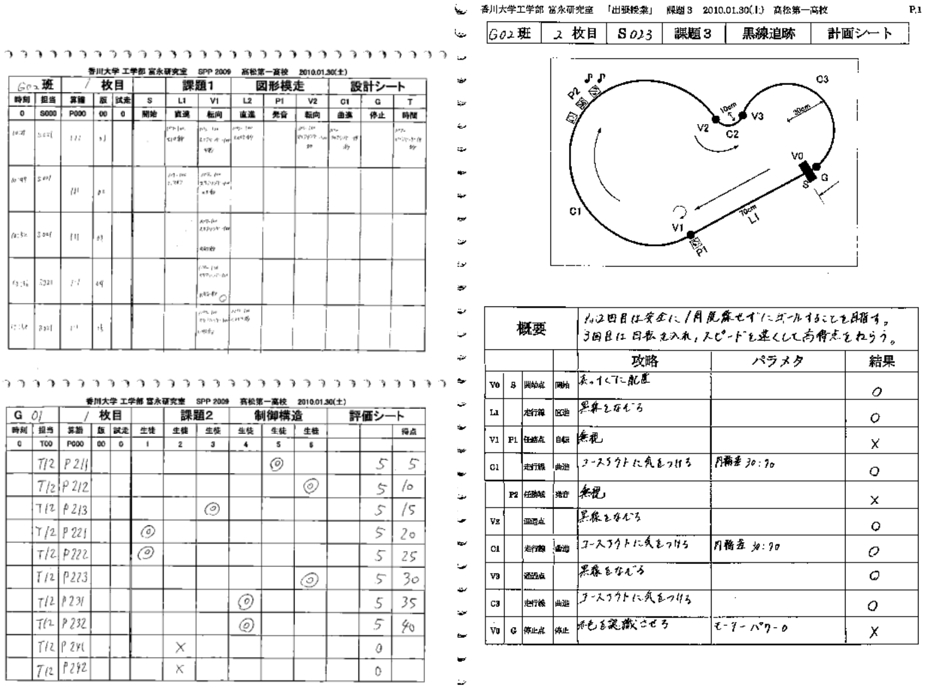


図 7 作業シートの記入例

ⓒ 2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-CE-105 No.5
2010/7/10

4.3. 事後発表の評価

他のクラブ活動などで，若干の欠席があったが，グループごとに協力して資料を作成していた．発表も分担しながらのグループが多かった．用意したテンプレートを活用し，図解や動画を追加して分かりやすく説明しようとしていた(図 8)．考察として，原因，結果，改善するべきポイントをセットで書けていた．特に，課題３では，各ポイントでの任務の達成状況，どこでコースアウトしたかを吹出しや矢印で書き込み，分析を述べていた．動画は，こちらが撮影したものを LegoWiki にアップロードしておいた素材をダウンロードして使っている．全体への感想では，想定した通りに動作させることの難しさや，パラメタの少しの変更で大きく挙動が変わることへの驚きなどが挙げられていた．質疑では，「やり直すとしたら，どこですか」などを尋ねたが，諦めた任務への再挑戦への意欲を示す回答が多く得られた．作業分担や時間配分に関する反省も挙げられていた．事後発表の評価は，表 2 の通りである．

図 8 生徒の発表資料

表 2 事後発表の評価

	G01	G02	G03	G04	G05	G06	G07	G08
合計	**66**	**59**	**53**	**44**	**49**	**67**	**70**	**51**
構成	16	15	13	11	13	17	17	14
表現	17	15	14	10	14	18	17	11
態度	16	13	13	12	11	16	17	14
質疑	17	16	13	11	11	16	19	12
T00	**19**	**17**	**15**	**12**	**13**	**17**	**17**	**14**
構成	4	5	3	3	3	4	4	4
表現	5	4	4	3	4	5	4	3
態度	5	4	4	3	3	4	4	3
質疑	5	4	4	3	3	4	5	4
T01	**17**	**16**	**13**	**12**	**14**	**17**	**17**	**14**
構成	4	4	4	3	4	4	4	4
表現	5	5	3	3	4	5	4	3
態度	4	3	3	3	3	4	5	4
質疑	4	4	3	3	3	4	4	3
T16	**16**	**12**	**13**	**10**	**12**	**16**	**19**	**10**
構成	4	3	3	2	3	4	5	3
表現	4	3	4	2	3	4	5	2
態度	4	2	3	3	3	4	4	3
質疑	4	4	3	3	3	4	5	2
T17	**14**	**14**	**12**	**10**	**10**	**17**	**17**	**13**
構成	4	3	3	3	3	5	4	3
表現	3	3	3	2	3	4	4	3
態度	3	4	3	3	2	4	4	4
質疑	4	4	3	2	2	4	5	3

4.4. 総合評価

３つの課題の競技得点では，200 点を境に，上位陣と下位陣に分かれた．課題１の得点で，完走の高速性を目指すか，任務での得点を目指すか，課題３の攻略が変わっていた．作業シートによる活動評価では，下位２チームを除いて，全体的によく書けていた．総合評価では，ほぼ競技得点に沿った順位となっているが，発表得点による若干の逆転もみられた．

表 3 総合評価

		競技							活動				発表				
班	合計	P1		P2	P3			合計	P1	P2	P3	小計	T00	T01	T16	T17	小計
G01	282	55	50	40	40	14	17	152	23	19	22	64	19	17	16	14	66
G02	340	40	15	35	70	80	27	225	23	11	22	56	17	16	12	14	59
G03	376	30	40	50	85	90	37	265	22	18	18	58	15	13	13	12	53
G04	255	50	55	20	55	17	50	180	13	9	9	31	12	12	10	10	44
G05	276	55	55	40	45	32	32	172	27	22	6	55	13	14	12	10	49
G06	346	55	55	50	65	17	50	220	21	15	23	59	17	17	16	17	67
G07	391	40	35	50	80	27	100	270	23	22	6	51	17	17	19	17	70
G08	322	55	55	30	48	75	75	235	19	4	13	36	14	14	10	13	51

上位				下位			
G07	G03	G06	G02	G08	G01	G05	G04
391	376	346	340	322	282	276	255

ⓒ 2010 Information Processing Society of Japan

表 4 アンケート結果(1)

質問	質問	総数	1	2	3	4	平均		上位 下位	1	2	3	4	平均		差
	受講前に、以下の経験がありましたか															
1-1	LEGO Mindstormsの組立や操作	44	2	6	2	34	3.55		23	1	3	0	19	3.61		0.13
									21	1	3	2	15	3.48		
1-2	LEGO Mindstormsのプログラミング	44	1	3	3	37	3.73		23	0	0	1	22	3.96		0.48
									21	1	3	2	15	3.48		
1-3	LEGO以外のロボット教材	44	1	2	3	38	3.77		23	0	1	1	21	3.87		0.20
									21	1	1	2	17	3.67		
1-4	コンピュータ関係の課外活動	44	1	6	4	33	3.57		23	0	2	1	20	3.78		0.45
									21	1	4	3	13	3.33		
1-5	BASIC言語やC言語でのプログラミング	44	1	3	4	36	3.70		23	1	1	2	19	3.70		-0.02
									21	0	2	2	17	3.71		
1-6	Wikiページへの書込み	44	2	1	3	38	3.75		23	2	1	1	19	3.61		-0.30
									21	0	0	2	19	3.90		
1-7	Twitterへの書込み	44	0	1	3	40	3.89		23	0	1	1	21	3.87		-0.04
									21	0	0	2	19	3.90		
1-8	Blogへの書込み	44	4	6	6	28	3.32		23	2	2	6	13	3.30		-0.03
									21	2	4	0	15	3.33		
	演習の前日までの準備															
2-1	事前に、配布された解説書を読んだ	44	8	27	6	3	2.09		23	4	16	1	2	2.04		-0.10
									21	4	11	5	1	2.14		
2-2	事前に、LegoWikiのページを見ていた	44	2	14	8	20	3.05		23	1	8	4	10	3.00		-0.10
									21	1	6	4	10	3.10		
2-3	事前に、グループ内で課題について話し合った	44	1	19	18	6	2.66		23	0	10	9	4	2.74		0.17
									21	1	9	9	2	2.57		
	グループでの話合いや作業の記録															
3-1	課題に取り組む前に、グループ内で、進行や分担の計画を立てた	43	10	23	7	3	2.07		22	3	13	4	2	2.23		0.32
									21	7	10	3	1	1.90		
3-2	演習中に、残り時間を考えて、何を優先するか、どこまで目指すかを調整した	43	11	25	6	1	1.93		22	7	12	2	1	1.86		-0.14
									21	4	13	4	0	2.00		
3-3	計画シートに攻略法を記入した	43	8	25	8	2	2.09		22	3	13	5	1	2.18		0.18
									21	5	12	3	1	2.00		
3-4	指導学生に積極的に質問した	43	8	17	14	4	2.33		22	2	7	9	4	2.68		0.73
									21	6	10	5	0	1.95		
3-5	活動状況をLegoWikiにまめにアップした	43	8	16	12	7	2.42		22	2	9	7	4	2.59		0.35
									21	6	7	5	3	2.24		
3-6	活動状況が分かるよう、デジカメで写真を撮影した	43	9	11	16	7	2.49		22	2	7	9	4	2.68		0.40
									21	7	4	7	3	2.29		
	机班でプログラムを作成していたとき															
4-1	曲進走行やセンサ検知の仕組みを理解して、プログラムを行った	43	11	19	10	3	2.12		22	7	9	4	2	2.05		-0.15
									21	4	10	6	1	2.19		
4-2	計算による予測や二分法など、直観だけに頼らず、数理的にパラメタを考えた	43	5	17	17	4	2.47		22	3	9	7	3	2.45		-0.02
									21	2	8	10	1	2.48		
4-3	床班からの報告を受けて、プログラムの修正に活かした	43	12	21	8	2	2.00		22	7	9	4	2	2.05		0.09
									21	5	12	4	0	1.95		
4-4	プログラムの概要や設定したパラメタを設計シートに記入した	43	5	27	8	3	2.21		22	3	13	4	2	2.23		0.04
									21	2	14	4	1	2.19		
4-5	プログラムの名前やバージョンを変えて、こまめに保存した	43	11	19	9	4	2.14		22	7	10	3	2	2.00		-0.29
									21	4	9	6	2	2.29		
4-6	机班の中で、分担や相談がうまくできていた	22	7	14	1	0	1.73		11	3	8	0	0	1.73		0.00
									11	4	6	1	0	1.73		

ⓒ 2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-CE-105 No.5
2010/7/10

表 5 アンケート結果(2)

質問	質問	総数	1	2	3	4	平均		上位/下位	1	2	3	4	平均		差
	床班で動作実験をしていたとき															
5-1	机班から修正点を聞いて、結果を予測しながら、動作実験を行った	43	10	27	3	3	1.98		22	4	13	2	3	2.18		0.42
									21	6	14	1	0	1.76		
5-2	床班の中で、分担や相談がうまくできていた	43	8	26	7	2	2.07		22	2	16	3	1	2.14		0.14
									21	6	10	4	1	2.00		
5-3	結果を正しく測定できるよう、メジャーやマーカーなどの器具をうまく使った	43	11	16	9	7	2.28		22	3	8	7	4	2.55		0.55
									21	8	8	2	3	2.00		
5-4	動作実験の記録を、しっかり実験シートに残した	43	12	19	11	1	2.02		22	5	12	4	1	2.05		0.05
									21	7	7	7	0	2.00		
5-5	動作実験の結果を、素早く机班に伝えた	43	18	19	5	1	1.74		22	10	10	1	1	1.68		-0.13
									21	8	9	4	0	1.81		
	課題を終えて															
6-1	作ったプログラムが実際にロボットの動作として実行されるのが面白かった	41	24	12	3	2	1.59		21	13	6	1	1	1.52		-0.13
									20	11	6	2	1	1.65		
6-2	設問を1つずつクリアしていくことで、最終目標への道が意識できた	41	13	19	7	2	1.95		21	6	11	3	1	1.95		0.00
									20	7	8	4	1	1.95		
6-3	何度もパラメタを変えて、やっと正しく動作したとき、達成感が得られた	41	18	17	4	2	1.76		21	10	9	1	1	1.67		-0.18
									20	8	8	3	1	1.85		
6-4	得点ルールを考慮し、勝敗を意識して取り組んだ	41	17	17	5	2	1.80		21	9	8	3	1	1.81		0.01
									20	8	9	2	1	1.80		
6-5	最後の競技大会は盛り上がった	41	23	13	3	2	1.61		21	15	4	1	1	1.43		-0.37
									20	8	9	2	1	1.80		
6-6	グループ内の協力と分担が重要だと思った	41	28	10	2	1	1.41		21	15	4	1	1	1.43		0.03
									20	13	6	1	0	1.40		
6-7	プログラミングへの興味が湧いた	41	14	17	3	7	2.07		21	8	8	2	3	2.00		-0.15
									20	6	9	1	4	2.15		
6-8	香川大学工学部への興味が深まった	41	2	15	17	7	2.71		21	0	7	11	3	2.81		0.21
									20	2	8	6	4	2.60		
	反省															
7-1	事前にもっと予習しておくべきだった	41	16	21	3	1	1.73		21	5	14	1	1	1.90		0.35
									20	11	7	2	0	1.55		
7-2	時間が足らなくて、中途半端になった	41	14	16	9	2	1.98		21	6	7	6	2	2.19		0.44
									20	8	9	3	0	1.75		
7-3	思った通りに動かないことが多く、いやになった	41	7	14	14	6	2.46		21	1	4	11	5	2.95		1.00
									20	6	10	3	1	1.95		
7-4	同じことの繰返しが多く、だんだん飽きてきた	41	4	13	16	8	2.68		21	1	3	10	7	3.10		0.85
									20	3	10	6	1	2.25		
7-5	自分が何をしてよいか分からず、積極的に参加できなかった	41	6	12	14	9	2.63		21	2	5	8	6	2.86		0.46
									20	4	7	6	3	2.40		
7-6	ソフトウェアの操作方法が分からず、思い通りにできなかった	41	8	10	18	5	2.49		21	2	3	13	3	2.81		0.66
									20	6	7	5	2	2.15		
	発表について															
8-1	事後に、LegoWikiのページで評価を確認した	42	5	11	16	10	2.74		22	2	9	5	6	2.68		-0.12
									20	3	2	11	4	2.80		
8-2	事後に、各種シートなど、作業記録を見返した	41	3	19	11	8	2.59		21	1	12	5	3	2.48		-0.22
									20	2	7	6	5	2.70		
8-3	発表資料のテンプレートが役に立った	41	15	17	5	4	1.95		21	10	7	2	2	1.81		-0.29
									20	5	10	3	2	2.10		
8-4	グループ内で、競技大会の結果の分析を話し合った	41	5	16	14	6	2.51		21	4	9	5	3	2.33		-0.37
									20	1	7	9	3	2.70		

ⓒ 2010 Information Processing Society of Japan

4.5. アンケート評価と考察

事後発表の後，受講した生徒 44 人に対してアンケートを実施した．回答は 4 段階の客観式で，1 そうである, 2 ややそうである, 3 ややそうでない, 4 そうでない から選択させた．質問内容は，1 事前経験, 2 事前準備, 3 グループ活動, 4 プログラム作成, 5 動作実験, 6 達成意識, 7 反省, 8 発表 の 8 大問とした．

大問 1 より，受講生の大半は，LEGO Mindstorms やその他のプログラミング環境を使ったことがなく，本演習が初めてであった．さらに，Blog に書き込んだことのある学生が 16 人いた以外は，Wiki や Twitter といったコミュニケーションツールをほとんど利用したことがなかった．しかし，授業などで PC 操作の経験があったため，それほど困難は感じていないようであった．

大問 2 より，配布した資料を読んだり事前に話しあったりできていたが，LegoWiki を閲覧していた学生は半数に留まった．これは，LegoWiki の公開時期が演習日の一週間前ということもあり，閲覧する時間的な余裕が少なかったことと，情報収集の手段としての PC の利用が十分でないことが考えられる．

大問 3 より，計画や調整といった作業も十分に行えていた．これは，実技大会までの制限時間を意識したためと思われる．また，下位チームの学生の方が，積極的に質問をしていた．大問 4 より，机班で分担や相談がうまくできていたという回答が多かった．大問 5 でも，床班内および机班との連携はうまくいったとの回答が多かった．以前の演習では，この点が低かったため，LegoWiki や作業シートによる改善の効果があったと思われる．一方，数理的なパラメタの設定はまだ十分でなく，器具の利用も十分でなかった．一般的な実験手法の指導が必要である．

大問 6 より，LEGO 演習がとても盛り上がり，強い達成感が得られ，グループ内の協力と分担に意識を持っていけたようだ．ただし，医学系を志望している 7 人については，そもそもの興味が余りなかったようだ．そのため，彼らが固まって在籍していたチームでは，達成度が平均より明らかに落ちていた．グループ編成のバランスを考慮する必要がある．大問 7 より， 90%以上の学生が，事前にもっと予習を行っておくべきだったと反省していた．予習不足のために，最初は自分のやるべきことが分からなかったり，ソフトウェアを思うように扱えていなかった．その結果，中途半端な成果や演習を同じことの繰返しと捉えてしまい，飽きる学生が出てしまった．特に下位陣に顕著に現れていた．単に教材を提示するだけでなく，達成状況の自己チェックができるような支援が必要である．大問 8 より，発表のテンプレートが役に立ったという回答が多かった．発表資料の作成にあたっては，上位陣では，作業シートの見返しにも積極的だったようである．

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．また，グループ活動のコミュニケーション支援システム LegoWiki を構築している．教育実践として，理系高校生への体験授業を実施した．3 週間の集中イベントとして，演習の前後に事前講義と事後総括の日を設けた．演習自体では，プロジェクトごとにゲーム課題を提示し，その技術要素を段階的に理解するための設問を用意する．作業過程を計画・設計・実験シートに記入させ，試行錯誤を通した問題解決の進め方と，分担と協力によるグループ活動の活性化を意識させる．実技大会を開催し，チーム間の競争意識で学習意欲を刺激する．事後総括として，口頭発表の報告会を行った．各シートの記入状況，競技結果，口頭発表を総合して最終成績とした．アンケート評価を実施し，成績の上位陣と下位陣に分けて分析した．上位陣は，自主的な取組みが目立ち，我々の用意した資料のみで進めていき，満足度も高かった．下位陣は，質問はしていたが，受け身の姿勢が見られ，反省意見が多かった．指導側の指針の作成など，より適切な支援が必要である．

謝辞 本研究は，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 の助成による．出張授業に協力していただいた SLP(香川大学プログラミング研究所)のメンバー, 高松市立高松第一高等学校の関係教員の方々ならびに生徒の皆さんに深謝する．

文 献

[1] 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).
[2] 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).
[3] 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).
[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- 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).
[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- 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)
[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).

ⓒ 2010 Information Processing Society of Japan