＜実践報告・資料＞

競技会（WRO Japan ARC）参加への授業展開と取り組み

石川職業能力開発短期大学校　坂尻千佳

Training development and approach to participation in the competition (WRO Japan ARC)

Chika SAKAJIRI

要約　石川職業能力開発短期大学校・電子情報技術科では、LEGO® Mindstorms®を活用した授業を展開している。また、総合制作実習のテーマとして、自律型ロボット競技の１つであるWRO Japan ARC に取り組んでいる。数あるロボット競技会の中で WRO Japan ARC を選択した経緯を説明し、2016 年度の取り組みを報告する。実際の授業内容、WRO Japan ARC への具体的取り組みを紹介し、競技会参加の意義や効果を示す。

Ⅰ　はじめに

本校では、学科内において 2015 年度より、教育の一環として何らかの競技会へ参加することを模索していた。様々な角度から検討した結果、2015 年度よりカリキュラムに導入していた、LEGO® Mindstorms®を活用し、WRO(World Robot Olympiad) Japan の ARC(Advanced Robotics Challenge) クラス (以下 ＷＲＯ ＡＲＣ)に挑戦することとした。

本報告では、実際の授業内容、参加競技会の決定過程、授業から競技会への展開、更に、実際の競技会へ向けた、準備、開発計画、開発戦略、アクシデントへの対応等の具体的事例を紹介し、競技会参加の意義や効果を示す。

Ⅱ　LEGO® Mindstorms®を活用した授業

１　授業概要

電子情報技術科では「システム分析・設計実習」という授業で LEGO® Mindstorms®を活用している。授業の目的は、システム分析と設計の基礎を学ぶことである。時間数は 36 時間、単位数は２単位である。専門課程 電子情報技術科１学年のプログラムを初めて学ぶ学生を対象として５日間の集中講義として実施している。使用機器は、LEGO® Mindstorms ®NXT とパソコンで、１人１台利用している。使用ソフトは、ＥＶ３ソフトウェア 1.0.1 である（2016 年現在）。

２　授業内容

授業内容を表１に記す。

全体で４種類の課題を与え、各課題完成後、課題テーマ、走行コース、使用したセンサ・モータの使用目的とその接続番号、ハードウェア構成図、ソフトウェア構成図、成績(タイム、競技順位など)、留意点・感想などをまとめた報告書を提出させる。

表１ システム分析・設計実習の授業内容

日	内　　容
１日目	LEGO Mindstorms の概要説明 ロボットの組み立て ファームウェアの書換え ＥＶ３ソフトウェアの操作方法 前進・後退・右折・左折・繰り返し処理 課題①：８の字走行 報告書作成①
２日目	タッチセンサの使い方 課題②：障害物競争(迷路) 報告書作成②
３日目	ライトセンサの使い方 課題③：ライントレース(タイムトライアル) 報告書作成③
４日目	課題④：相撲大会 (作戦決定・組み立て・プログラム作成・練習試合・改良)
５日目	課題④：相撲大会 (トーナメント戦) 報告書作成④

論文受付日　　H31.2.4

１日目の午前中は、LEGO® Mindstorms®の概要を説明し、これから使うロボットの組み立てを１人１台行う。午後からソフトウェアの作成に取りかかるが、NXT を使用する場合は、一度だけファームウェアの更新を行う。その後、前進・後退・右折・左折の基本的動作のプログラミングと実際の動作確認を行い、更に繰り返し処理を学習する。課題として、２つの物の間を８の字走行してスタート地点に戻る。

２日目はタッチセンサの使い方を学習する。課題として、簡単な迷路のコースを作成し、ぶつかったら方向転換する処理を繰り返してゴールする。

３日目はライトセンサの使い方を学習する。課題として、ライントレースのコースをタイムトライアルする。早くできた学生はタイムを更新していく。

４日目と５日目は総合課題として、図１のように土俵の中に２台～４台のロボットを向かい合わせに置き、トーナメントの相撲大会を実施する。センサやモータの追加や改造を行ってもよい。製作状況を見ながら、改良時間を取り、第２回、第３回のトーナメントを実施する。

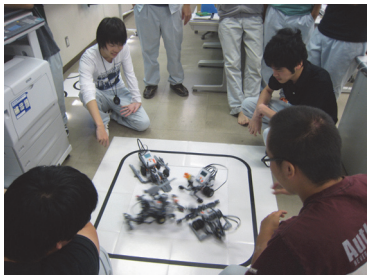

図1　課題④ 相撲大会

3　LEGO® Mindstorms® の活用効果

LEGO® Mindstorms®を活用することにより、下記の効果を得ることができた。

- プログラミングの前に組み立てから入るため、動作の仕組みを理解することができ、また更に改良することが自然とできるようになった。
- ＥＶ３ソフトウェアを使用することにより、簡単にプログラミングに入ることができた。また、実際にロボットが動くので、学生は楽しく授業を受けることができた。
- 最初は静かに座っているだけの学生も次第にプログラムを作成し、積極的に行動するようになった。
- 特に指示しなくても自主的にロボット本体やプログラムを改良し、応用するようになった。
- プログラミングにこだわる者、ロボットの構造にこだわる者、逃げるプログラムを作る者、突撃するプログラムを作る者など各自の個性や特徴が作業に反映された。
- お互いの作品を見て、質疑応答しながら各自の開発を進めたため、学生同士、学生と教員間の距離感が縮まった。

Ⅲ　参加競技の決定

1　ETロボコン と WRO ARC との比較

本校では、学科内において 2015 年度より、教育の一環として、学生達の目的意識の明確化と向上並びに責任感、計画性及び社会性などの育成を目的として、実践的な、何らかの競技会へ参加することを模索していた。まず、参加する競技は授業に活用していた LEGO® Mindstorms®を用いた競技とすることを決定した。参加競技の第１候補としてＥＴソフトウェアデザインロボットコンテスト(1)（以下ＥＴロボコン）が上がり、説明会に参加した。その説明会の中で、ＷＲＯ(2)ユニバーシティ大会の話を聞き、同時にＷＲＯ　ＡＲＣについても検討を始めた。ＥＴロボコンとＷＲＯ　ＡＲＣとの違いを表２に示す。

表２　ETロボコン と WRO ARC との比較

項目	ＥＴロボコン	ＷＲＯ　ＡＲＣ
意義 目的	組み込みシステム分野における技術教育	ロボット競技への挑戦を通じて創造性と問題解決力を育成
ハード ウェア	指定されたロボットを LEGO®で作成する	自作のロボットを TETRIX®又は MATRIX で作成する
ソフト ウェア	自作のプログラムを入れて競技する	自作のプログラムを入れて競技する
開発の 中心	ソフトウェア	ハードウェア ソフトウェア
ﾌﾟﾚｾﾞﾝﾃｰｼｮﾝ	あり	なし
使用機種	EV3	EV3 or KNR or myRio™
対象者	高校生以上の 学生・企業・個人	17 歳～25 歳までの 高校生以上の学生
詳細決定	２月	１月下旬(世界大会) ５月中旬(日本大会)
申込締切	４月	７月
予選	９月	なし(2016 年度)
全国大会	１１月	８月末
世界大会	なし	１１月
その他		2016 年にユニバーシティから ARC へ変更

2　WRO ARC へ参加の決定

表 2 の内容を基に参加競技を検討した結果、次のような理由でＷＲＯ ＡＲＣへの参加を決定した。

・本校はものづくりの学校であり、実際のものづくりの創意工夫も考えさせたい。また、ロボットを作りたいという学生からの要望も当初からあった。

・本来なら作成したもののプレゼンテーションまで実施して完成であるが、開発に重点を置き、競技会直前まで改良・開発を進めていきたい。

・ＥＴロボコンはノウハウを蓄積させるまで数年かかるとの情報を得た。ＷＲＯはＡＲＣになって最初の年であるため、新規参入しても成功する可能性が高いのではないかと判断した。

・ＷＲＯ ＡＲＣは世界大会まで開催されるため、目標を高く持つことができる。

Ⅳ　WRO ARC への取り組み

1　競技ルール

2016 年度の競技ルール[(3)]は、ロボットによるボウリング競技である。4800 mm × 1200 mm の競技エリアで、450mm×450mm×450mm 以内のロボットがスタート地点を出発し、アクリルケース内のボールを１つ取る。試合直前に決められたピン(白色)の位置をカメラやセンサ等で認識し、方向を定めて、ボールを投げる。２球投げてストライクかスペアがでたら３球目を投げるように自動で判断する。２球または３球投げ終わったらスタート地点へ戻る。高得点の緑ピンや正規のピンの手前に同じ白色の減点ピンが置かれる回もある。倒したピンの数と、ルール通りの動作をしたかなどが点数となり得点を競う。

2　授業から競技会への展開

まず、３月にメンバーを決定した。開発は、総合制作の１つとして実施することとし、参加希望者を募った。本来なら希望者全員に挑戦させたかったが、予算上１チームのみの選抜とした。競技参加は２名または３名であるが、開発は４名で行うことにした。既に LEGO® Mindstorms®を活用した授業を実施していたため、学生への概要説明は容易に実施できた。また、組み立てを得意とする学生、プログラミングを得意とする学生、攻撃的、守備的など個々の開発における特長を既に把握していたのでそれぞれのタイプを混ぜてメンバーを決定した。

3　準備

競技に参加するための準備を表 3 のように実施した。

４月末にＷＲＯ ＡＲＣへの参加を決定し、５月中旬から機材の調査、選択を開始し、５月後半から６月にかけて発注を実施した。その間、学生はＷＲＯ ＡＲＣ ２０１６ 日本大会の開催概要と大会規約等の確認を行い、ＷＲＯ ＡＲＣ ２０１６ 世界大会のルールの翻訳を実施した。７月上旬、機材一式が揃い、競技コースの作製、ボールを置くアクリルの箱の作製、ベースロボットの製作を行った。それと同時に開発ソフト LabVIEW™ のインストールを行い、アフレル社より LabVIEW™ の無料講習を実施していただいた。図 2 は準備・講習会風景と競技コースである。また、表 4 に発注機材の一覧を示す。

表 3　準備の経過

時期	準備(指導者)	準備(学生)
４月	学生へ WRO ARC の説明 WRO ARC 参加決定	組み立て練習 ＬＥＧＯプログラミングの基本練習 計８ｈ
５月 ６月	機材の調査、選択、発注	WRO ARC 2016 日本大会の開催概要、大会規約等の確認 WRO ARC 2016 世界大会のルールの翻訳 計１６ｈ
７月 前半	競技コースの作成 ボールを置くアクリルの箱の作成 ベースロボットの製作 開発ソフト LabVIEW™ のインストール LabVIEW™ の無料講習(アフレル社)　計１２ｈ	

図2　準備・講習会風景と競技コース

表 4　発注機材の一覧

発注機材	個数
EV3 WRO 2016 ユニバーシティセット-B	1 ｾｯﾄ
TETRIX®12 ボルト充電式ニッケル水素バッテリーパック（追加）	1 個
TETRIX®連続回転サーボ	2 個
TETRIX®サーボモータパック（6 個入り）	1 ﾊﾟｯｸ
TETRIX®DC モータパック（6 個入り）	1 ﾊﾟｯｸ
TETRIX®DC ギアモータ	2 個
競技用コース（1210×2430×15）	2 枚
ビリヤードボール赤	3 個
ボウリングピン（100 円ショップでの代替品）	2 袋
粘土（ボウリングピンの重り用）	1 個
ボール設置用アクリル板	3 枚
NXTCam-v4（NXT,EV3 用カメラ）	1 個
Tele-Lens（NXTCam 用望遠レンズ）	1 個
EV3 バッテリー　（追加）	2 個
WRO 2016 ARC セット（ボウリングピン白 14 緑 1・ボール 3）（WRO Japan より正式購入）	1 ｾｯﾄ

4　開発計画・開発戦略

今回は、ＷＲＯ　ＡＲＣへの挑戦が初めてであったため、準備のスタートが遅かった。また、他の競技会や検定試験が学生に重なり、実際に開発を始めたのは、７月中旬からであった。しかもその後の夏季休暇中も研修やインターンシップ、運転免許取得などいくつかの予定が学生に入ってきた。これらの理由から起こる、先の見えない不安や焦りを解消し、開発に向かう意欲が約２カ月間下がることがないよう、週単位の計画・目標をはっきりさせ、落ち着いて開発に取り組めるよう計画を立てた。図 3 は実際の改良・開発風景である。具体的な計画と実際を表 5 に記す。期間の中の時間数は実際の活動時間である。基本的に活動した時間帯は日中である。週平均３日程度の活動だった。

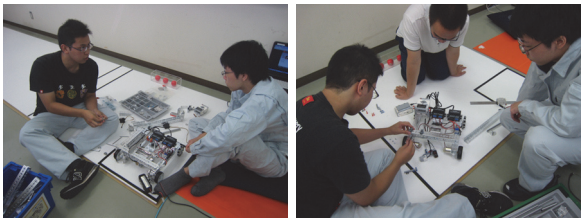

図3　改良・開発風景

表 5　開発計画と実際

期間	計画	実際
7/11 の週 22h	TETRIX®の無料講習 ベースロボットの作製 スタート地点からボール位置までの移動	予定通り実施
7/19 の週 30h	アームの作製 ボールを取って投げる アームの調整	アームの作製 スタート地点からボール位置まで行き、ボールをつかんで１球投げる
7/25 の週 24h	**夏季休暇開始** ボールを２球投げる	翌週の目標を全て達成 カラーセンサ取付 （戻り地点の認識） 各種調整
8/1 の週 16h	スタート地点からボール位置まで行き、ボールをつかんで２球投げて戻る	アームの方向を変更可能に改造 移動誤差解消のためのボディの改造
8/8 の週 20h	カメラによる画像解析またはセンサ制御	カメラの設定 画像解析 アームの安定化改造 バッテリーテスト
8/15 の週	カメラによる画像解析またはセンサ制御	
8/22 の週 22h	最終調整	画像解析 超音波センサの誤認識が発覚し、カラーセンサに急きょ変更 その他最終調整

前述したとおり、開発期間が短かったため、表 6 の作戦を取り、開発を進めた。

表 6　開発戦略

段階 内容	作戦	理由
1 開発方法	最初はセンサをなるべく使わずに開発した その後、センサを使う必要がある部分を整理し、追加した	まず一通りの動きを完成させ、完走させるため更にセンサが必要な部分を最小限にし、効率よく制作するため
1 動き	３球目の判断はせず、２球投げたらスタートに戻った	時間的に認識まではできないと判断した
1 動き	緑ピン、減点ピンについては最後に時間があれば考えることにした	時間的にできないと判断した
2 設計	ボールの方向の調整は、ロボット本体ではなくアーム自身の向きを変えることにした	本体を動かすと元の位置に戻らず、２球目のボールをつかめない可能性があった
2 検証	画像解析は一発勝負で、１種類のカメラを選択し、他の機種を比較検討しなかった	比較検討する時間的余裕がなかった
3 性能ＵＰ	倒すピンの数よりも、完走することを最優先にして、繰り返し試走した	ルール上、最後まで正常に動かないと得点できなかったため
3 性能ＵＰ	成功率を上げるため電圧をある範囲に限定して使用した	センサを取り付けるより早く確実にできると判断した

5　競技参加

８月２５日の出発前日に、電子情報技術科１，２年の前で壮行会が行われ、参加学生の士気が高まった。

８月２６日は、移動後、現地、帝京大学の競技コースの試走会で最終調整を行った。現地でのカメラの画像認識とアーム制御にうまくいかない部分があった。試走会終了時刻まで調整を行ったが、問題は解決しなかった。試走会終了後は懇親会が開催された。他校と交流を深めることは、日頃、他校と関わることが少ない学生達にとって大変良い刺激となった。技術交流することにより、他校も同様に悩み、苦しみ、この時を迎えたことを知り、不安を自信に変え、新しい知識や考えを吸収していた。

８月２７日は実際の競技に参加した。各校３ゲームずつ競技した。１ゲーム目は以前より時々発生していたDC モータの逆回転が発生し、棄権となった。２ゲーム目は正常に動作したが、カメラの認識がうまくいかず、完走はしたものの、倒れたピンは０ピンであった。３ゲーム目も完走したが、倒れたピンは１ピンであった。結局３回合計で、完走１０点×２回＋１ピン＝２１点の成績であった。全体で１４チーム中８位の成績であった。９位のチームとは同点であったが、完走タイムが短かったので、８位となった。

８月３１日に電子情報技術科１，２年の前で報告会を実施し、大会の様子、結果、各自の思いをそれぞれ発表した。

図４は試走会、競技会の様子である。

図4　試走会･競技会の様子

図５は、実際の競技参加ロボットである。タイヤは４輪で左右１対の DC モータで走行する。カメラは、ピンの位置(左右)を検出する。アームはサーボモータを２つ使用し、１つはボールを取って投げる前後の回転をし、もう１つはボールを投げるアームの左右方向を変更する。車体の下にはライトセンサが左右に１つずつあり、コースのラインを認識する。

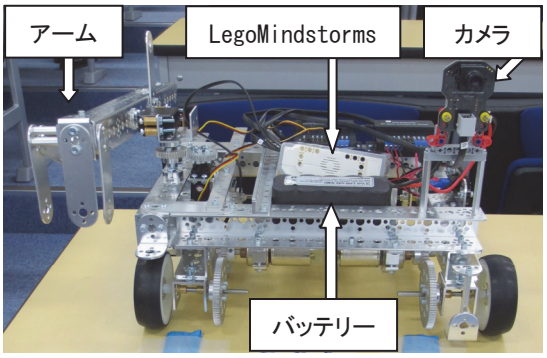

図5　競技参加ロボット

6　大会終了後の取り組み

ＷＲＯ　ＡＲＣへの挑戦は総合制作として取り組んでいたため、大会終了後からの後半の取り組みを以下のように実施した。

・試走会から競技会終了までの出来事の取りまとめ
・開発段階、大会の反省点、問題点の洗い出し
・後半の取り組みの計画
・取り組みの実施
・次年度への引継ぎ

実際に起こったトラブルと原因･対応を表７のようにまとめた後、後半の取り組みを計画した。

超音波センサの誤作動は試験走行を繰り返している間に出発直前、競技コースを偶然ずらしたことにより教室の壁を認識していることが発見され、競技前に対応することができた。動作距離がバッテリーの充電量で変化する問題は、競技にはバッテリーを一定範囲の容量の時だけ使用することで対応した。

DC モータが突然逆回転するトラブルは、競技会では原因不明で電源のリセットを繰り返す応急対応をしていたが、後半の改良途中で使用ソフトのバグということを学生が発見した。DC モータを回し続けると 33 秒ごとに反転するトラブルも競技終了後原因が判明した。

後半の具体的な取り組みとして、センサを追加してバッテリーの充電量に影響を受けない完走率のアップ、画像解析のレベルアップ、ボールを投げる機能の改良などを挙げ、開発を進めた。

総合制作発表会終了後の３月には、次年度の学生へ向けた今年度の学生による説明会を実施した。

表7 トラブルと原因・対応

時期	内容	原因	対応
開発中	時々DC モータが逆回転する	不明 DC モータコントローラの誤作動か？	DC のバッテリー電源を何度か ON/OFF する
			プログラムを走行前に一度動かす
	動作距離が変化する	バッテリーが減るため	ある範囲の電圧で競技する
	DC モータを回し続けると 33 秒ごとに反転する	不明	★競技終了後 制御方法を「速度」ではなく「電圧」にすると起こらないと判明
	超音波センサがアクリルを認識していない (出発2日前)	部屋の壁を認識していた	カラーセンサに変更
試走会	カメラがピンをうまく識別できない	会場が学校より暗かったため	強制的に位置情報を与えた
	アームの左右モータが正確に動かない	運搬によるゆがみか？	応急処置をはかったが正確には動作しなかった
競技会	DC モータが逆回転した	不明 DC モータコントローラの誤作動か？	DC のバッテリー電源を何度か ON/OFF する ★競技終了後 LabVIEW™ のモータ反転指定機能を使用すると発生することが判明 機能を使用せず、値を直接設定することにした

V　今後の展望

2017 年度以降も WRO ARC へ挑戦したいと考えたが、大きく２つの問題点があった。

まず、次年度の取り組み方式の決定である。どのように次の年へ引継ぐかも考慮した上で決定しなければならない。2016 年度は総合制作として２年生のみで実施したが、これでは次年度への引継ぎが別途必要となってしまう。対応策として、１、２年で同じ時間に実習を行うカリキュラムを組み、合同授業として取り組む方法がある。残念ながら本校では現在そのようなカリキュラムを組む余裕はほとんどない。また、この場合、競技会に参加しない学生の授業展開をどうするかも考えなければならない。別の対応策として、サークル活動として実施する方法がある。本校は２年制の学校であるため、サークル自体が少なく、あまり活発ではない。また、検定試験等が近づくと放課後の自由度は極端に減ってしまう。

もう１つの問題はコントローラの選択である。今回はＥＶ３を使用した。WRO ARCでは、ＥＶ３、ｍｙＲＩＯ™、ＫＮＲのいずれかを使用する。画像解析に重点を置く場合はｍｙＲＩＯ™ またはＫＮＲが適している。制御や動作だけを見るとＥＶ３の方がやり易い。本校ではＥＶ３で授業を行い、そのままＥＶ３でWRO ARCに挑戦していきたいと考えているが、現状では画像処理の性能が下がってしまう。今後も検討を要する。（2018 年以降、WRO ARC での ＥＶ３の使用は認められなくなった。）

VI　おわりに

WRO ARCへ参加したことにより、下記の効果を得ることができた。

- 開発段階で学生達は目的をはっきり持ち、積極性、計画性を持って開発を進めていった。
- 制作途中で問題が発生すると、構造的問題、プログラム的問題を分析し、それぞれの担当者が、意見を交換し合い、試行錯誤しながら、適切に問題を解決し、改良していった。
- 各担当ごとに責任感と自信を持って物事に取り組む姿勢が見られた。
- 競技会場で他校の学生の活動を見聞きし情報交換することにより、強い刺激を受け、自分たちの向かっている方向は間違っていないと自覚し、自信を持ち、より開発意欲を湧き上がらせた。総合制作の最後まで積極的に改良・開発を進めていった。

これらの姿勢は社会に出た時に大変必要な行動であり、彼らの中で十分活かされていくであろう。

VII　謝辞

今回の取り組みにあたり、帝京大学 理工学部 蓮田裕一教授にはWRO ARC参加決定以前から、不明点へのご回答および準備、開発におけるアドバイスを数多くいただいた。ここに深謝の意を表する。また、株式会社システムコボ 代表取締役 島田敏一氏には、WROの現状を教えていただき、更に蓮田教授をご紹介いただいた。ここに感謝の意を表する。

[参考文献]

(1) ET ロボコン公式サイト
http://www.etrobo.jp/ 参照:2016 年 11 月
(2) NPO 法人 WRO Japan 公式サイト
https://www.wroj.org/ 参照:2016 年 11 月
(3) WRO 2016 インド国際大会 公式サイト
http://www.wro2016india.org/ 参照:2016 年 11 月
(4) 坂尻,森下,納谷,小河,水口、WROアドバンスド・ロボティクス・チャレンジへの初挑戦、帝京大学主催第 1 回ロボット技術教育シンポジウム予稿集、2016 年、pp.12-17

本報告中で使われているシステム・製品名は、一般に各社の商標または登録商標である。