

# 車両型ロボットによる陸上競技の投てき物回収支援

2018SC049 松原未季 2018SC056 村松伸一

指導教員: 大石泰章

## 1 はじめに

近年、工場などで活用される無人搬送ロボット「AGV (Automated Guided Vehicle)」の進歩が著しく、次世代の「AMR (Autonomous Mobile Robot)」へと発展しつつある。AMR とは、AGV の中でも、誘導体を必要とせず、搭載されたセンサなどの情報から自己位置の推定ができるロボットのことであり [1]。2021 年に開催された東京オリンピック・パラリンピックでは AMR の 1 つである「FSR (Field Support Robot)」 [2][3] という自律走行ロボットが陸上競技の投てき種目で利用された。

FSR の動作を図 1 に示す。通常 FSR は待機場所で待機している。投てき物が落下すると、待機場所から落下場所まで、係員に追従することで移動する。投てき物が係員によって積まれたら、FSR 自身が投てき場所まで運搬する。投てき場所では係員が FSR から投てき物を回収する。その後、FSR は待機場所まで戻る。途中、人や障害物がある場合はこれを避けて移動する。FSR の開発により、重い投てき物を係員が運ぶ負担を減らすことができる。また、認知・判断・行動すべてをロボット自身がこなしており、係員が操作する必要がない。

FSR は LiDAR などの高価なセンサや複雑なアルゴリズムによって実現されている。しかし、今後の自律走行ロボットは、安価かつ単純で量産できるものが求められると考えられる。そこで本研究では、LEGO Mindstorms EV3 により製作した単純なセンサから構成される車両型ロボットを用いて、FSR にどこまで近づけるのか検証を行う。具体的には、係員への追従、車両型ロボット自身での目的地への移動、障害物回避を実現する。ただし係員の追従については、係員を模した物体に追従させることで実現する。

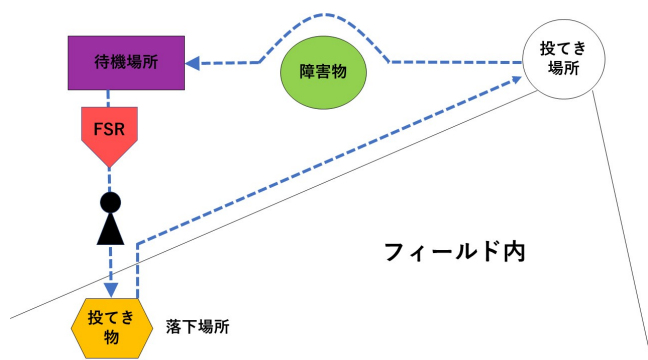


図 1: FSR の動作

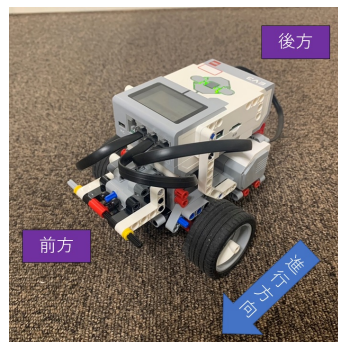


図 2: ロボットの基本構造

## 2 使用機器

### 2.1 ロボットの基本構造

本研究では LEGO Mindstorms EV3 を使って製作した車両型ロボットを使用する。ロボットの基本構造を図 2 に示す。ロボットの製作には LEGO education により提供されている組立説明書 [4] を参考にした。ロボットは車輪を 2 つ持ち、それぞれ独立にモータで回転させることができる。ロボットの中心である EV3 ブロックは、プログラムを実行することができ、センサを接続するための入力ポートとモータを接続するための出力ポートを 4 つずつ持つ。使用するセンサは、超音波センサ、カラーセンサ、ジャイロセンサである。ポートの数に制限があるため、本研究では用途によってロボットの仕様を変更し、2 種類のロボットを用いて実験を行う。

### 2.2 用いるセンサ

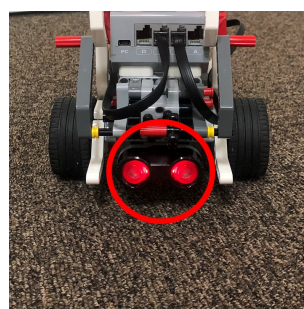


図 3: 超音波センサ

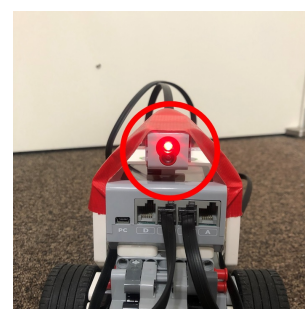


図 4: カラーセンサ

本研究では、3 種類のセンサを利用する。それぞれのセンサについて説明する [5]。

図 3 に示すセンサは、超音波センサである。センサに対して前方の物体との距離を測定する。このセンサを用いることで、障害物の検出や衝突回避が可能となる。

図 4 に示すセンサは、カラーセンサである。懐中電灯

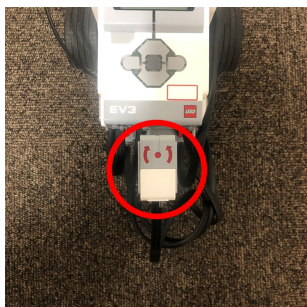


図 5: ジャイロセンサ

の光など周囲の環境から入る光の強さを測定する機能を持つ。この機能を用いることで、指定値以上の光を検出するまでロボットを回転させることが可能である。

図 5 に示すセンサはジャイロセンサである。ロボットの回転角度、角速度を測定する。ロボットを指定した角度まで回転させて、停止させることが可能である。

### 3 問題の設定とアプローチ

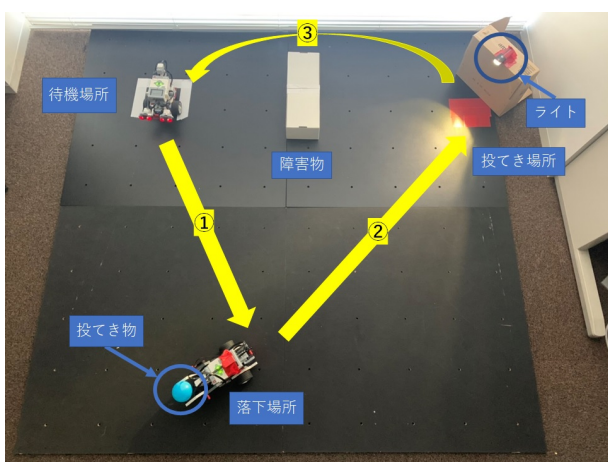
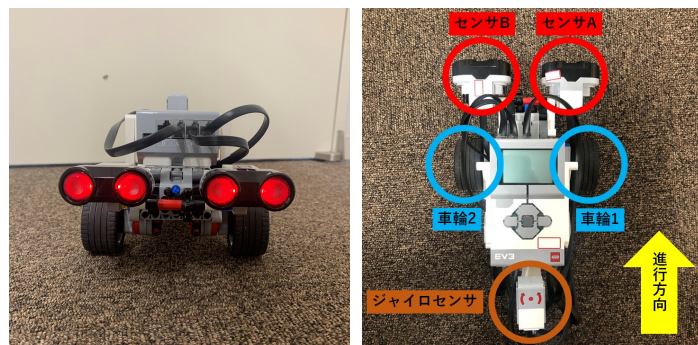


図 6: 使用するコース

本研究で用いるコースを図 6 に示す。縦 90cm × 横 90cm の正方形の黒板を 4 枚利用した。投てき場所にはライトが設置されており、これは落下場所の方向を照らしているものとする。ロボットを待機場所（初期位置）から移動させ、係員に見立てた物体に追従させることで、落下場所までロボットを誘導する。この動作を図 6 では①で表している。落下場所に到達したら、人が投てき物をロボットにのせる。その後、投てき場所まで運ばせ、投てき物を人が回収する（図 6 の②）。そして待機場所へ戻る（図 6 の③）。この移動の際、障害物があるとし、回避行動をさせる。ロボットの中心である EV3 ブロックに接続できるセンサの数が限られているため、本研究では 2 種類のロボットを用意し、動作①は 1 つ目のロボットが、動作②と③は 2 つ目のロボットが実行するようにする。以下、動作①については 4 章で、動作②と③についてはそれぞれ 5 章と 6 章で述べる。

## 4 落下場所までの移動

### 4.1 追従を行うロボット



(a) 正面から見たロボット

(b) 上から見たロボット

図 7: 追従用ロボット

本章では、待機場所から落下場所までの移動（図 6 の①）を考える。ここで使用するロボットを図 7 (a) に示す。落下場所までの移動は物体の追従によって行うため、追従ができるよう、ロボットの前方に超音波センサを 2 つ搭載した。図 7 (b) は同じロボットを上から見た様子である。進行方向に対して右側をセンサ A、左側をセンサ B とする。また車輪について、右側を車輪 1、左側を車輪 2 とする。このほか、ロボットにはジャイロセンサを搭載する。

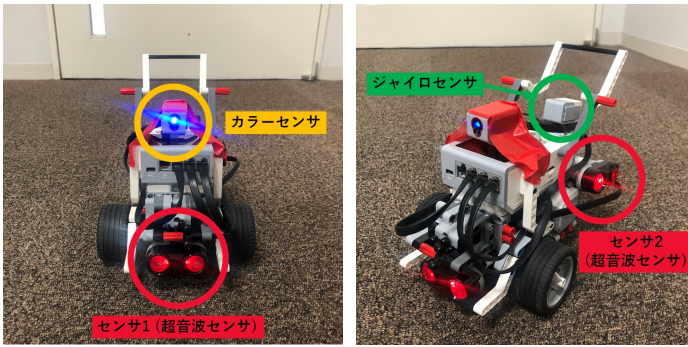
### 4.2 落下場所までの移動の実現

はじめは、ロボットは待機場所にいるものとする。係員に見立てた物体を用いて、ロボットを落下場所まで誘導する（図 6 の①）。誘導するには、物体がセンサ A から近かつセンサ B から遠い場合は車輪 2 のモータ入力を車輪 1 よりも大きくすることによりロボットを右方向に進ませる。反対に、物体がセンサ B から近かつセンサ A から遠い場合は車輪 1 のモータ入力を車輪 2 よりも大きくすることによりロボットを左方向に進ませる。また、物体がどちらかのセンサに近づきすぎた場合は、ロボットを停止させる。さらに、これら以外の場合はロボットを直進させる。

## 5 投てき場所までの移動

### 5.1 投てき場所まで移動するロボット

本章では落下場所から投てき場所までの移動（図 6 の②）を、6 章では投てき場所から待機場所までの移動（図 6 の③）を考える。本章と 6 章で使用するロボットを図 8 に示す。ロボットの前方上にはカラーセンサ、前方下と左側方には超音波センサを取り付けている。また、ロボット後方にはジャイロセンサを搭載する。また、投てき物を置くアームをロボット後方に取り付けた。



(a) 正面から見たロボット (b) 左前から見たロボット

図 8: 回収用ロボット

## 5.2 投てき場所までの移動の実現

落下場所に到達した後、ロボットを図 8 のものに変更し、人が投てき物をロボットにのせる。本章で考える、落下場所から投てき場所まで投てき物を運ぶ動作のフローチャートを図 9 に示す。投てき場所には、ロボットを誘導するためのライトと壁を設置した。落下場所にいるロボットを照らす光がライトから出ているとする。ライトの光はロボット前方上のカラーセンサで検出できる。壁の有無や壁までの距離はロボット前方下の超音波センサで測定できる。はじめに、投てき場所の光を指定値以上検出し、かつ壁を認識するまで、投てき物を持ったロボットを左回転させる。ロボットが光のある投てき場所の方向を向いたら、ロボットを直進させる。ロボットが壁に近づいたら、移動を停止し、人が投てき物の回収を行う。その後、ロボットを待機場所の方向へ左回転させる。

## 6 待機場所までの移動

### 6.1 障害物回避を行うロボット

本章では、投てき場所から待機場所までの移動を考える。経路途中に障害物があると、これを回避させる。本章で用いるロボットは前章のものと同じであり、ロボットの前方下と左側方に 1 つずつ超音波センサが搭載されている。図 8 (a) はロボットを正面から見ており、下で赤く光っているものをセンサ 1 とする。そして、図 8 (b) はロボットを左前から見ており、右で赤く光っているものをセンサ 2 とする。またロボットの回転角度を測定するため、ジャイロセンサも使用する。

### 6.2 障害物回避の実現

ロボットの前方および左側方の超音波センサとジャイロセンサを用いて、障害物の回避を行う。回避におけるロボットの一連の動作を図 10 (a)~(e) に示す。ロボットは、投てき場所から待機場所の方向へ移動を開始する。動作①で、ロボット前方のセンサ 1 から見て障害物との距離が近くなる（センサ出力値が 15cm 未満となる）まで直進させ

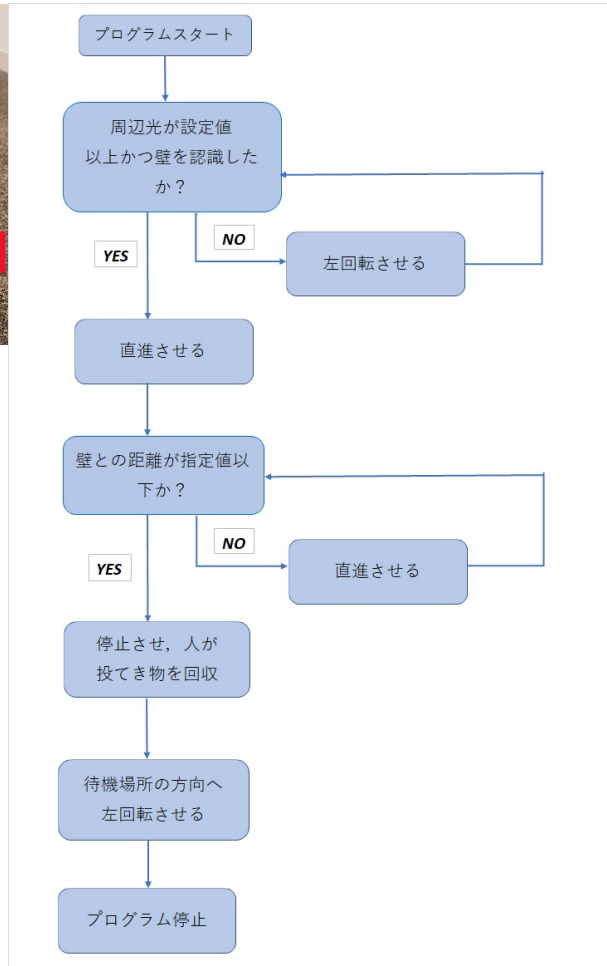


図 9: 落下場所から投てき場所までの移動のフローチャート

る。動作②で、ロボットを右回りに 90 度回転させる。動作③で、ロボット左側方のセンサ 2 から見て障害物が認識できなくなるまで、ロボットを直進させる。動作④で、ロボットを左回りに 90 度回転させる。この回転を行わせたとき、センサ 2 からは障害物が見えていないため、ロボットに動作⑤、⑥をさせる。動作⑤で、センサ 2 が障害物を認識するまで直進させる。そして動作⑥で、センサ 2 から見て障害物を認識できなくなるまで直進させる。その後動作⑦で、ロボットを左回りに 90 度回転させるが、このときもセンサ 2 からは障害物が見えていない。そこで動作⑧で、センサ 2 が障害物を認識するまで直進させる。動作⑨で、右回りに 90 度ロボットを回転させることで、ロボットの向きを待機場所へと変える。障害物を回避した後は、待機場所の方向へロボットを直進させる動作⑩を行う。待機場所に到達したら、人がロボットのボタンを押すことで、移動を停止させる。

## 7 おわりに

本研究では、LEGO Mindstorms EV3 により製作したロボットを用いて、FSR に近い動作を実現した。待機場所から落下場所までは、追従用ロボットを用いて係員に見立てた物体の追従による移動を行った。落下場所に到着し

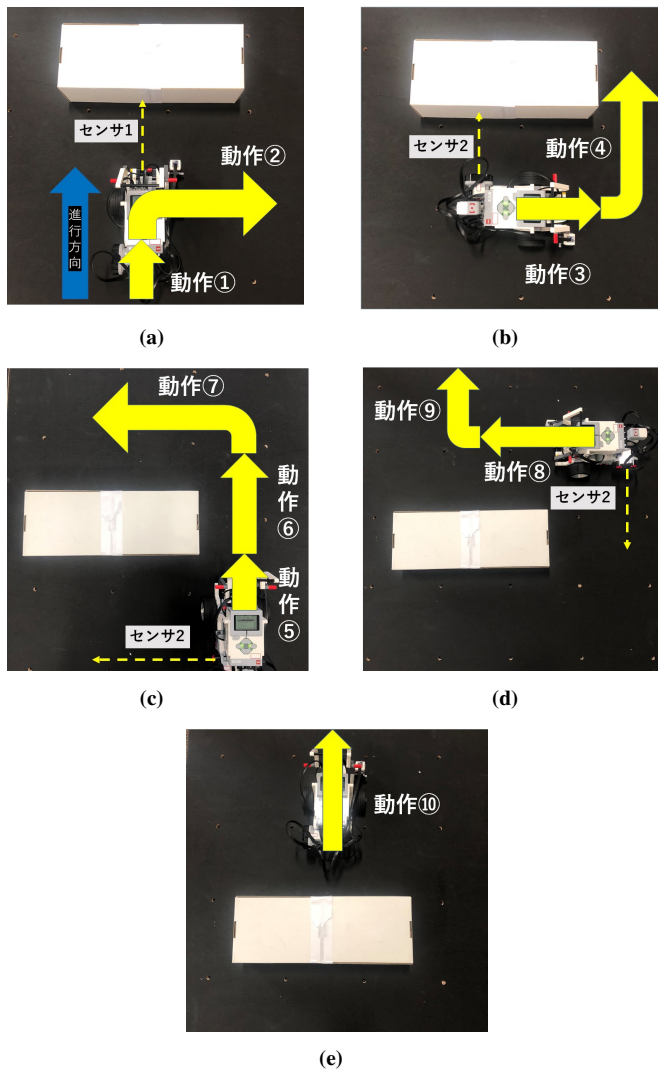


図 10: 障害物回避におけるロボットの動き

たら、追従用ロボットから回収用ロボットに変更した。そして投てき場所の光を検出し、かつ壁を認識するまで回転させ、投てき場所の方向に向けた。その後壁に近づくまで直進させることで、落下場所から投てき場所までの移動を行った。その後投てき物は人が回収し、待機場所の方向にロボットを回転させる。投てき場所から待機場所までは、障害物があると仮定した。ロボット前方と左側方にある2つの超音波センサを用いて障害物との距離を測り、ロボットの回転動作を組み合わせることで、障害物回避を実現した。

FSRに近い動作の実現をしたが、解決すべき課題がある。1つ目は、待機場所から落下場所までの追従に制約がある点である。超音波センサは音波を送り、反射することによって、前方にある物体との距離を測っている。そのため、棒のような細いものは反応しにくく、追従させる物体がある程度の大きさを持っている必要がある。2つ目は、カラーセンサの光検出に制約がある点である。落下場所にいるロボットが投てき場所へ向かうために左回転した際、投てき場所の光がセンサに上手く入らなければ、ロボット

は投てき場所の方向に向くことができない。そのため、ロボットの回転とセンサの位置を考慮した上で、投てき場所から照らす光の方向を調整しなければならない。3つ目は、動作が成功するために、暗黙の仮定がある点である。ロボットを指定した場所へ移動させたい場合、進ませた方向に必ずその場所がなければならない。具体的には、投てき場所から待機場所へ移動する際、待機場所と障害物はロボットが進む方向に必ずあるという前提でプログラムを組んでいる。

今後は、カメラを搭載し、ロボットが人や物体を認識しながら動けるようにすることで、上記の課題の解決が可能と考える。1つ目の課題については、ロボットに追従させる物体を認識させることで、物体が棒のようなものでも対応できると考える。2つ目の課題については、投てき場所を認識させることで、光を用いずに移動できると考える。3つ目の課題については、目標のものや場所を認識させることで、それらがロボットの正面の方向にない場合でも、適切に進行方向を修正し、正しく移動できるようになると考える。さらに、物体ではなく人の追従の実現も可能になると考える。

## 参考文献

- [1] 協働ロボット.com,  
[https://www.kyodo-robot.com/blog\\_amr](https://www.kyodo-robot.com/blog_amr)  
 (最終閲覧日 2022年1月11日)
- [2] 投てき種目 [自律走行ロボット] 投てき物の回収をロボットで支援,  
<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/mag/nmc/18/00059/00009/>  
 (最終閲覧日 2022年1月10日)
- [3] 東京五輪でハンマー運ぶ、トヨタの自律走行ロボット「FSR」,  
<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00001/02595/>  
 (最終閲覧日 2022年1月10日)
- [4] EV3 トレーニングモデル 組み立て説明書,  
<https://education.lego.com/v3/assets/blt293eea581807678a/bltc8481dd2666822ff/5f8801e3f4f4cf0fa39d2fef/ev3-rem-driving-base.pdf>  
 (最終閲覧日 2022年1月10日)
- [5] EV3 ユーザーガイド,  
[https://education.lego.com/v3/assets/blt293eea581807678a/blt2e137b6580bf4118/5f8806d718bf360ec7ca8987/ev3\\_user\\_guide\\_ja.pdf](https://education.lego.com/v3/assets/blt293eea581807678a/blt2e137b6580bf4118/5f8806d718bf360ec7ca8987/ev3_user_guide_ja.pdf)  
 (最終閲覧日 2022年1月10日)