

自動車型ロボットによるライトレースと自動駐車

2016SC034 春日井雄也 2016SC094 筒井樹

指導教員：大石泰章

1 はじめに

現在、自動車業界では CASE というキーワードに象徴される様々な研究、開発が盛んに行われている。CASE とは、Connected, Autonomous, Shared & Services, Electric の頭文字をとったものである。その中でも Autonomous すなわち自動運転化は、ドライバーが運転中に行う様々な認識、判断、操作をコンピュータに実行させることを意味する。そのためには、センサによって周囲の状況を認識し、コンピュータによって判断を行い、その結果に基づいて運転操作を行うことが必要である。

本研究では、LEGO Mindstorms を用いて自動車型ロボットを製作し、自律走行や自動駐車の実現を目指す。具体的には、駐車場までの移動、前向き駐車、後ろ向き駐車および、縦列駐車を一連の流れとして実行させる。その中で様々なセンサを用いた状況認識、および正確な判断と操作がなされるよう工夫する。

2 自動車型ロボット

2.1 基本構造

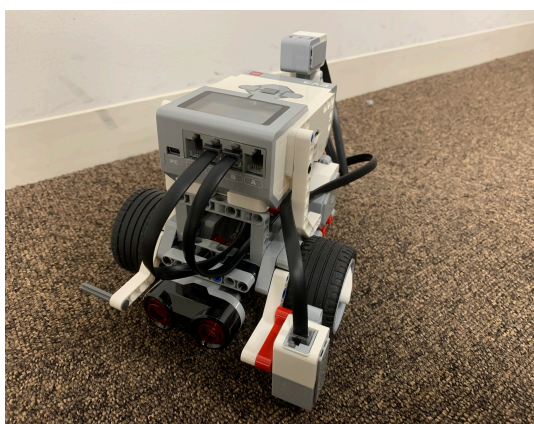


図 1 用いた自動車型ロボット

本研究において LEGO Mindstorms を使って製作し、使用した自動車型ロボットを図 1 に示す。これは LEGO education より提供されている組立説明書 [1] を参考にし、製作したものである。

左右に搭載されたモータで前輪を回転することにより自動車型ロボットは前進、後退をすることができ、さらにその際の回転数を計測し、記憶することが可能である。モータには -100 から 100 までの値を入力することができ、値が大きいほど自動車型ロボットは速く進み、値が小さいほど遅く進むようになる。値が負の値のときは後退する。また、曲がる方法としては、左右のモータに異なる入力を加える方法もあるし、ステアリングとパワーを表す値を入力

することで実現できる。今回は左右のモータに異なる入力を加える方法を用いてライトレースを行い、ステアリングとパワーを入力する方法を使って自動駐車を行った。

2.2 使用したセンサ

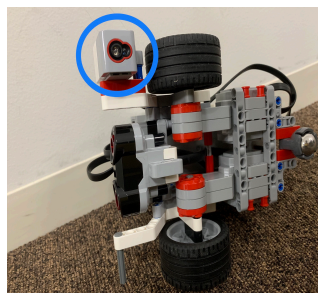


図 2 カラーセンサ



図 3 ジャイロセンサ

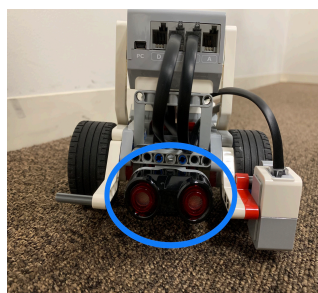


図 4 超音波センサ

LEGO Mindstorms には 4 種類のセンサが用意されている。本研究では、そのうち 3 種類のセンサを利用した。

1 つ目は図 2 に示したカラーセンサである。カラーセンサは反射光の強さを測定して最小値 0, 最大値 100 の範囲の値を出力し、黒、青、緑、黄、赤、白、茶の 7 色を識別することが可能である。反射光の測定と色の識別は同時に実行でき、利便性が高い。

2 つ目は図 3 に示したジャイロセンサである。ジャイロセンサは自動車型ロボットの向きの角度や角速度を測る。これにより、指定した角度まで旋回するといったことが実現できる。

3 つ目は図 4 に示した超音波センサである。超音波センサは前方の障害物との距離を測定する。これにより、物体までの距離が指定した値になったら止まるといったことが実現できる。

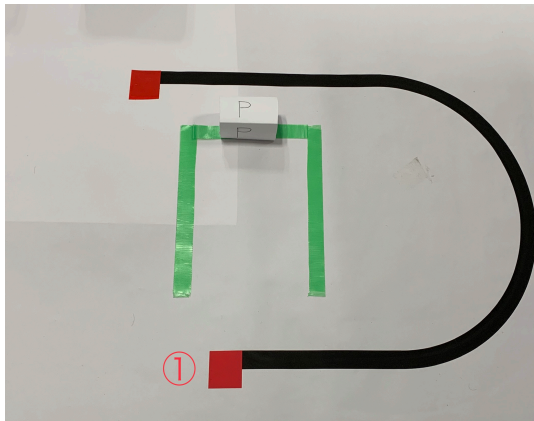


図5 使用したコース

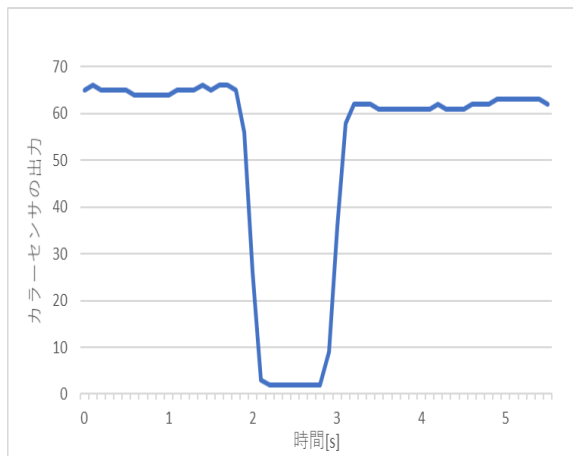


図6 反射光の測定

3 ライントレースの実現

3.1 課題とカラーセンサの性質

図5のような、道路を想定したコースを作成した。自動車型ロボットが、コースの黒いラインの左端に沿って走行するようなプログラムを作成し実装する。プログラムの作成はWebページ [2] のプログラムを参考にした。

本研究では反射光の強さをカラーセンサで測定することで、白色と黒色を区別する。予備実験として、黒色のラインを横切りながらセンサの出力値を計測した。測定結果を図6に示す。自動車型ロボットに取り付けられたカラーセンサが黒色上にあるときセンサの出力値は約2、白色上にあるとき約65となった。目標である黒いラインの左端にあるときには約40となった。また白色から黒色への移動時では徐々に値が小さくなっていくことがわかる。このことから白色と黒色の境界付近ではカラーセンサの出力値が鋭敏に変化することがわかる。

3.2 モータ制御の方法

以上の結果に基づき、次のようなモータ制御の方法を考えた。センサ出力の目標値を40として、出力値が40より大きくなったら、自動車型ロボットが左側にずれて白色が

多くなると見なし、左のモータへの入力を増やす。センサの出力値が40より小さくなったら、自動車型ロボットが右側にずれて黒色が多くなると見なし、右のモータへの入力を増やす。すなわち、センサ出力が y であるとき、左モータへの入力 u_l 、右モータへの入力 u_r を次のように定める：

$$u_l = 10 + k(y - 40),$$

$$u_r = 10 - k(y - 40).$$

ゲイン k は試行錯誤を繰り返した結果0.83と定めた。これはセンサ出力の目標値40に対するP制御であるので、滑らかな挙動が実現されると考えられる。

3.3 実験結果

以上をプログラム化して自動車型ロボットに実装したところ、黒いラインの左側に沿って滑らかに走行することを確認した。これによりライントレースに成功したといえる。ライントレースをしているときのカラーセンサの出力値は図7のようになった。また、この図における目標値40との間の平均二乗誤差の平方根は3.32となった。

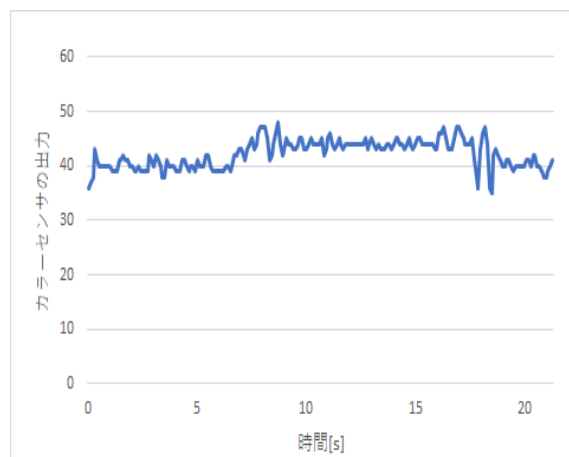


図7 ライントレースの際のカラーセンサの出力値

4 前向き駐車, 後ろ向き駐車

4.1 駐車手順

本章では、コース中の所定の駐車場に自動で駐車させることを考える。図5①のように駐車場の位置を示す目印として、赤色のラインをライントレースのコース上に引いた。ライン上を走行中にカラーセンサによって赤色を検知すると、駐車を開始される。

駐車の手順としては、まず図8①、②のように、所定の駐車場に前向きで駐車をした後に、図9①、②、③、④、⑤のように、1度駐車場を出てから同じ駐車場に後ろ向きで駐車しなおすことにする。主な駐車方法である前向き駐車と後ろ向き駐車どちら向きの駐車もできるようにこのような駐車手順とした。駐車各動作を実現するために、車輪の回転数を測定し、これにもとづいてステアリングとパ

ワーを調整した。LEGO Mindstorms においては、 -100 から 100 の範囲でモータにステアリング値を入力することで車両型ロボットの進行方向を変えることができる。進行方向は正の値だと右、負の値だと左となり、値を大きくするほど急に曲がるようになる。パワーについても -100 から 100 の範囲で値を入力することにより車輪の回転するスピードを変えることができる。パワーが正の値だと車両は前進し、負の値だと後退する。また、超音波センサが自動車型ロボットの前方にしかないため、前向き駐車の際に駐車場の深さを記憶し、それを用いて後ろ向き駐車を実現する。

4.2 前向き駐車

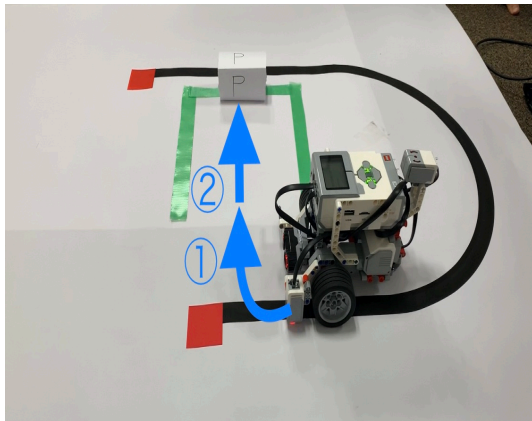


図 8 前向き駐車

図 8①, ②に示す前向き駐車のプロセスについて説明する。赤色のラインから 90 度右折したところに駐車場があるので、自動車型ロボットは赤色を検知したところで右折を開始する。右折方法としては、ステアリングを 100 、パワーを 10 として、 0.53 回転させる。ここまでが過程①である。

次に過程②を実行する。駐車場の停止位置には停止ブロックが設置してある。超音波センサにより停止ブロックまでの距離を測定し、これが 5cm になったら停止し、前向き駐車は完了となる。

4.3 後ろ向き駐車

前向き駐車が完了したら、後ろ向き駐車へ移行する。後ろ向き駐車の一連のプロセスは図 9①, ②, ③, ④, ⑤である。まず、過程①で、向きを変えるスペースを作るために後退する。この際、前進してきた距離よりも長い距離後退する必要があるため、前進してきたときの車輪の回転数に 1.5 回転追加して後退する。前進してきたときの回転数については前向き駐車の際に測定しておくものとする。 1.5 回転分追加して後退した次は、過程②である。過程②では、自動車型ロボットの向きを駐車場と垂直にさせる。つまり、赤色を検知した時と同じ向きにすればよいので、ステアリングを 90 、パワーを -10 として 0.63 回転させ、半時計回りに弧を描くように -90 度旋回する。 0 度まで旋回し終わったら、過程③を実行する。過程③では後ろ向きで駐車場に

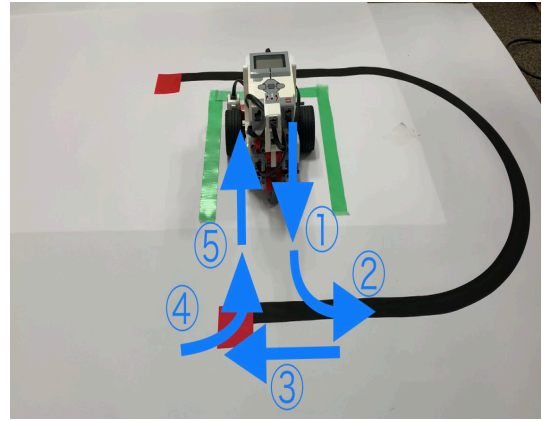


図 9 後ろ向き駐車

入っていくために車輪 0.5 回転分前進させる。その後、過程④として駐車場に車体を合わせるために前向き駐車とは逆の向き、すなわちステアリングを 45 、パワーを -10 として 1.29 回転させ -90 度旋回する。そして、過程⑤で、後方に取り付けてあるジャイロセンサのスペースを考慮して後退させて駐車完了となる。後ろ向き駐車に移行する時に長く後進したことも考慮し、前向き駐車の際に測定した回転数を x とすると、このときの後退距離は試行錯誤の結果 $1.0 + x$ 回転分となった。

4.4 実験結果

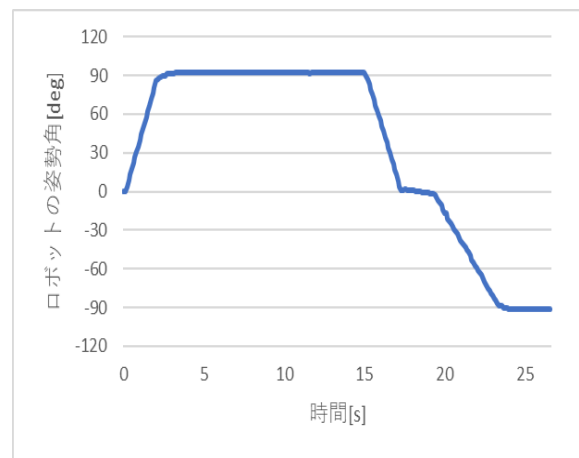


図 10 ジャイロセンサで測定したロボットの姿勢角の変化

以上をプログラム化して自動車型ロボットに実装したところ、前向き駐車、後ろ向き駐車の際にも駐車スペース内に駐車することができた。車輪の回転数を細かく指定することにより精度の高い旋回を実現することができた。図 10 は一連の動作の際のロボットの姿勢角の変化を、ジャイロセンサの出力を積分して求めたものである。 2 秒から 3 秒の間では前向き駐車の際の図 8①の過程を行っており、 90 度旋回している。 15 秒から 16 秒の間では後ろ向き駐車の際の図 9②の過程を行っており、 -90 度旋回している。 23 秒から 24 秒の間では後ろ向き駐車の際の図 9④の過程を行って

おり、-90度旋回している。したがって、意図した動作を実現できていることがわかる。

5 縦列駐車

5.1 駐車手順



図 11 超音波センサを車体の右側につけたところ



図 12 縦列駐車 1

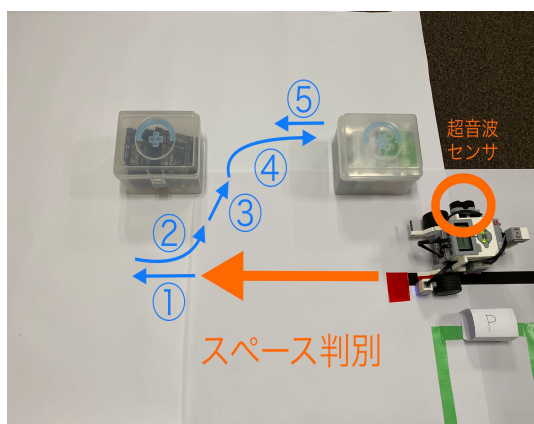


図 13 縦列駐車 2

縦列駐車は後ろ向き駐車完了したところから、超音波センサを図 11 のように車体の右側に付け替えてスタート

させる。まずは、図 12 のように黒ラインを検知するまで直進させ、検知したら左折し、そのまま半時計回りにライントレースをさせ、縦列駐車スペースまで移動させる。ライントレースで進んでいくと、前向き駐車のとときと同様の赤色のラインが引いてあるので、赤色を検知したら駐車ができるスペースを探し、駐車可能なスペースを見つけたら縦列駐車を図 13①、②、③、④、⑤の手順で行う。

5.2 駐車方法

スペースの有無の判別方法は以下の通りである。すなわち、前進しながら超音波センサで進行方向の右側の物体の有無を繰り返し調べ、車輪が 1.4 回転する間物体がない場所があればスペースが充分であるとして、縦列駐車を開始する。具体的には、超音波センサが 0cm から 30cm の間に物体があると検知している場合、検知がなくなるまで前進する。超音波センサが 0cm から 30cm の間に物体を検知していない場合、検知するまで前進する。そして、検知がないまま車輪が 1.4 回転した場合は、見つけたスペースに縦列駐車をするべく、試行錯誤の結果により決定した動作を行う。つまり、図 13①、②、③、④、⑤の動作をして駐車完了となる。

6 おわりに

本研究では、道路を想定したコース上で自動車型ロボットを走行させ、ライントレースを行う制御、そして自動駐車を行う制御の 2 つを行った。ライントレースでは、まずカラーセンサで反射光の強さを測定した。その後、その測定結果に基づいて左右のモータへの入力を調整し、ライントレースの実現に成功した。自動駐車では、カラーセンサ、ジャイロセンサ、赤外線センサを用いて前向き駐車してから後ろ向き駐車することを実現することができた。旋回動作をジャイロセンサの出力でなく、モータの回転数にもとづいて実行したところ、意図した角度での旋回が高い精度で実現できた。

縦列駐車におけるスペース判別は、駐車車両などの障害物が様々なパターンで存在する場合に対応できるものが実現できた。しかし、駐車スペースを判別するために超音波センサを車体の右側につけたことや、センサ数の都合上駐車スペースの奥行きを測定していないことのため、スペースを判別してからの駐車動作はあらかじめ決まった動作を実行するのみとなってしまった。

参考文献

- [1] LEGOeducation 組立説明書 (最終閲覧日 : 2019 年 12 月 20 日), <https://le-www-lives-legoecd.com/sc/media/lessons/mindstorms-ev3/building-instructions/ev3-rem-driving-base-79bebf16bd491186ea9c9069842155e.pdf>
- [2] そう備忘録 (最終閲覧日 : 2019 年 12 月 20 日), <https://www.souichi.club/lego/linetrace-02/>