

クラシックサイズマイクロマウス

Pi:Co Classic 3

パート 1 『基礎知識編』

株式会社アールティ

2017 年 04 月

目次

1.	マイクロマウス競技とは	3
1.1	マイクロマウス競技の歴史	3
1.2	マイクロマウス競技内容	4
1.3	クラシックマイクロマウスのルール	6
2.	マイクロマウスの基本的なハードウェア構成	9
2.1	CPU ユニット	9
2.2	センサユニット	10
2.3	センサの種類	10
2.4	スイッチ	10
2.5	赤外線・可視光センサ	10
2.6	モータユニット	12
2.7	ステッピングモータ仕様	12
2.8	DC モータ仕様	14
2.9	エンコーダ(フォトインタラプタ+エンコーダ板)	15
2.10	電源ユニット	16
2.11	バッテリー	16
2.12	リチウムイオンポリマ電池	16
2.13	ニッケル水素電池	16
3.	迷路解析の手法と考え方	17
3.1	マッピングについて	17
3.2	左手法	18
3.3	拡張左手法	18
3.4	求心法	20
3.5	トレモー法	21
3.6	足立法	21
3.7	最短経路の求め方	24
4.	備考	27
5.	改版履歴	28
6.	お問い合わせ	29

1. マイクロマウス競技とは

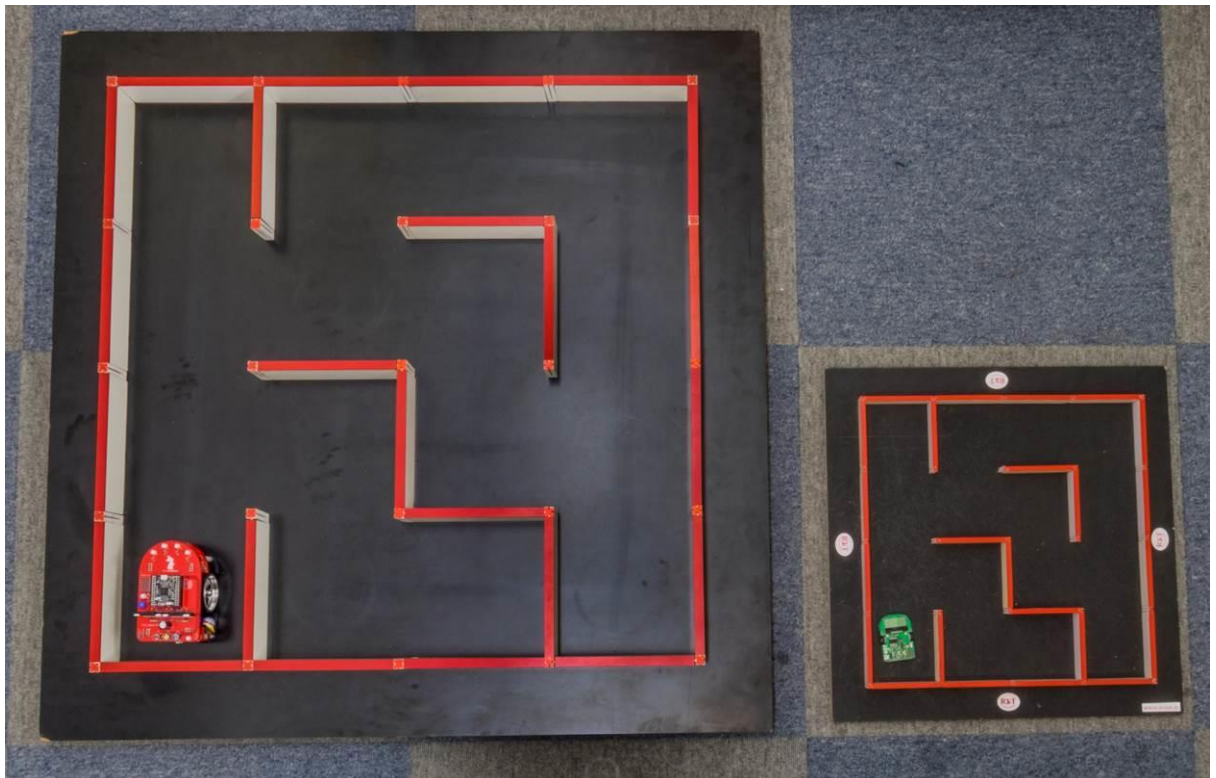
1.1 マイクロマウス競技の歴史

マイクロマウス競技とは、自立型¹ロボットに迷路を通過させ、その知能と速度を競う競技です。ここに出場するロボットをマイクロマウスと総称しています。マイクロマウスの形状は特に制限されていませんが、機体の床投影面²に対しての縦横の幅は制限があります。

マイクロマウス競技は、アメリカで発祥したロボット競技会です。IEEE(米国電気電子学会)が技術チャレンジとして 1977 年に提唱しました。当時 CPU が開発されたばかりで、コンピュータにできることがまだ限られており、いろいろなチャレンジが行われていました。1977 年に第 1 回大会、1979 年にアメリカ全国大会が開催され、ゴールしたロボットが出たため、技術チャレンジを達成したということで終了しました。このときはまだゴールは迷路の中心ではなく、この後、開催されたイギリスの大会で迷路の中心がゴールということになりました。

日本では 1980 年に第 1 回全日本マイクロマウス大会が開催され、今では各地区予選も開かれるようになりました。毎年多くの参加者が、競技や技術チャレンジを楽しんでいます。日本では、フレッシュマンクラス、エキスパートクラスに分かれ、技術レベルにあわせた迷路を用意し、幅広いレベルの参加者が競技をチャレンジできるようになっています。

2009 年から、ハーフサイズマイクロマウスのクラスが新たに加わり、迷路規格が従来サイズの半分となり、さらにレベルの高い技術チャレンジに挑むことになりました。(フレッシュマンクラスは従来どおりのサイズです)



¹ こういったロボット自身がコントロールするロボットは自律型ロボットと言います。しかし、主催のニューテクノロジー振興財団では自立と表記しています。このマニュアルでは自立と表記します

² ロボットを床に置き、真上から見たときの形状のこと

1.2 マイクロマウス競技内容

マイクロマウス競技では、完全自立のロボットが 16×16 区画の迷路を走行します。スタート地点は迷路の四隅のいずれか決められた場所、ゴールは迷路中心の4区画です。競技では、マイクロマウスが制限時間(クラス、予選・決勝などにより変わります。)以内に5回走行でき、1 回ごとにスタート地点から、最初にゴール地点まで完走するまでのタイムを計測します。途中で止まるなどしてゴールできなかった場合は、その回はリタイアになります。5 回走行するか、制限時間が尽きたときに、その中の最短のタイムがそのマイクロマウスの記録として採用されます。一度も完走することができなかった場合、記録はつきません。マイクロマウスはセンサを使って迷路を探索し、完全自立走行しなくてはなりません。競技前、もしくは競技中に迷路の情報をマイクロマウスに入力したり、プログラムを変更したりする事は認められていません。

全日本マイクロマウス大会には、フレッシュマンクラス、エキスパートクラスの 2 クラスがあります。フレッシュマンクラスは、過去にこのクラスにおいて、一度も完走をしたことがない人のみがエントリーでき、初心者や学生が技術チャレンジを目的に参加するクラスです。はじめて間もない参加者のために迷路は比較的易くなっています。競技の制限時間は 7 分です。迷路は1区画のサイズが 18×18cm、マイクロマウスのサイズは、床投影面が 25×25cm 以内となっています。

エキスパートクラスは、予選と決勝があり、決勝戦は予選上位通過者と各地区大会の成績でシードされた参加者(原則として地区大会の上位者の中から推薦されたチーム)によって行われます。予選は制限時間 7 分、決勝では制限時間が 5 分と短くなり、難しい迷路の上で、緊迫した競技が展開されます。見る者まで息を呑んで静まり返るほどの緊張感の中で行われる全国大会のエキスパートクラスには、海外からも優秀なロボットが多数参加しています。世界で一番早いマイクロマウスを作った人を毎年決定する競技会です。

2009 年から迷路サイズとマイクロマウスの上限サイズが従来の半分のクラスが出来たことにより、従来のマイクロマウス競技はクラシックマイクロマウスと名前を変えることになりました。ハーフサイズマイクロマウスクラスの迷路は1区画が 9×9cm、マイクロマウスは床投影面のサイズが 12.5×12.5cm 以内になります。

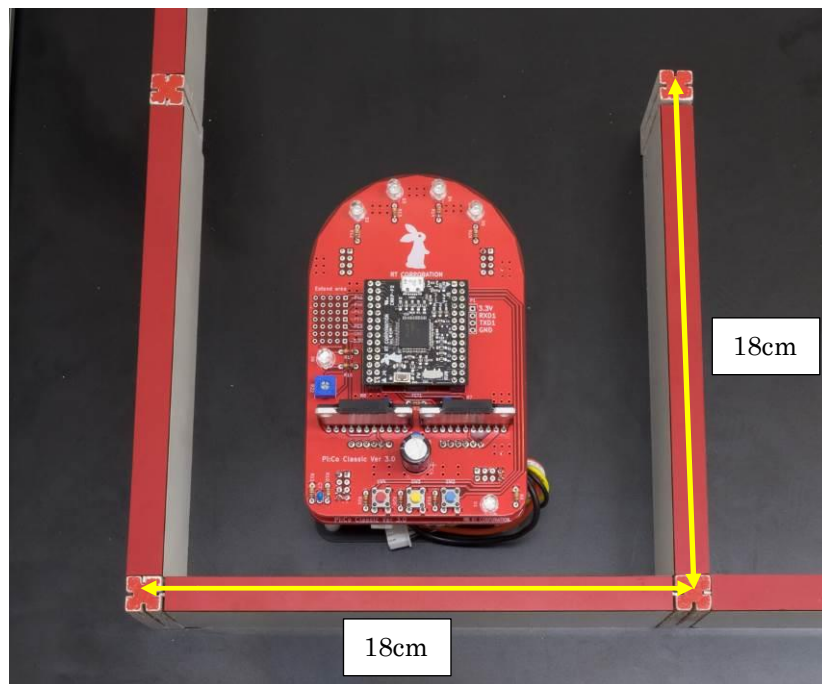


図 クラシック迷路一区間

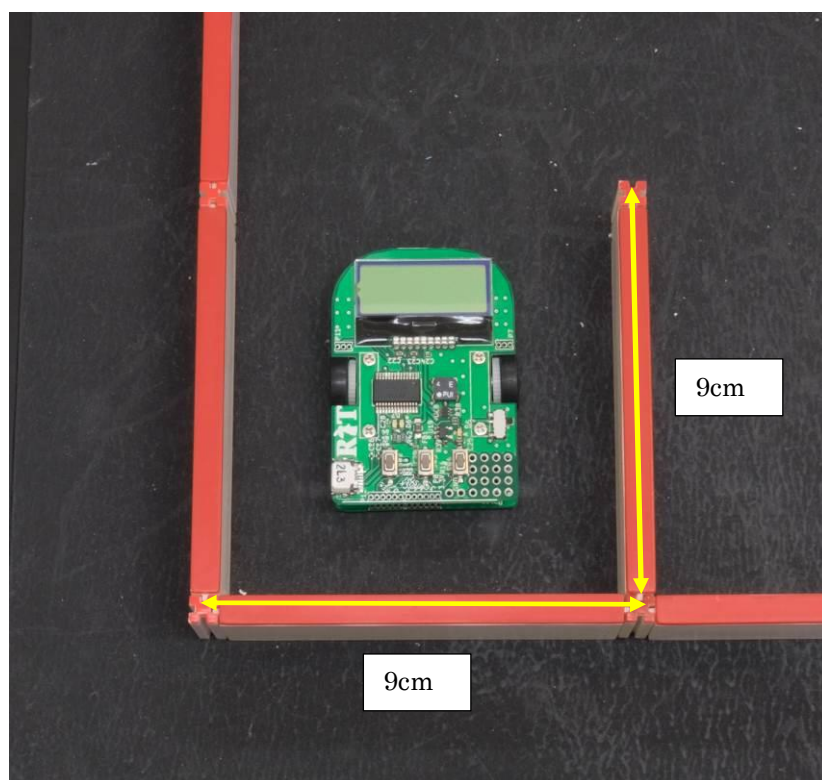


図 ハーフ迷路一区間

1.3 クラシックマイクロマウスのルール

クラシックマイクロマウス競技のルールを説明します。詳しいルールについては、主催であるニューテクノロジー振興財団の HP(<http://www.ntf.or.jp/>)を参照してください。ハーフサイズマイクロマウスは、次のクラシックサイズの規定に準拠しています。

【総則】

マイクロマウス競技とは、ロボットに迷路を通過させ、その知能と速度を競う競技である。ここに出場するロボットをマイクロマウスと呼ぶ。

2013 年 8 月 1 日改定

1 マイクロマウスに関する規定

- 1-1 マイクロマウスは自立型でなければならない。燃焼を利用したエネルギー源は許されない。
- 1-2 マイクロマウスは、競技中に操作者により、ハードウェアおよびソフトウェアの追加、取りはずし、交換、変更を受けてはならない。ただし、軽微な修理・調整は許される。
なお、特に必要と認められた競技会については、全く同一仕様のバッテリーの交換は許されることがある。
- 1-3 マイクロマウスは迷路内に本体の一部を放置してはならない。
- 1-4 マイクロマウスは迷路の壁を飛び越し、よじのぼり、傷つけ、あるいは壊してはならない。
- 1-5 マイクロマウスの大きさは、その床面への投影が1辺 25cmの正方形に収まらなければならない。走行中に形状が変化する場合も、常にこの制限を満たしていなければならない。ただし、高さの制限はない。

2. 迷路に関する規定

- 2-1 迷路の壁の側面は白、壁の上面は赤、床面は黒とする。迷路の走行面は、木材に黒のつや消しの塗料が塗付されているものとする。ただし、始点の区画及び終点領域の区画の壁の上面は黄色とする。
- 2-2 迷路は 18cm×18cmの単位区画から構成され、全体の大きさは 16×16 区画とする。区画の壁の高さは 5cm、厚さは 1.2cm とする。
- 2-3 迷路の始点は、四隅のいずれかにあり、時計回りに出発する。終点は中央の 4 区画とする。
- 2-4 各単位区画の四隅にある 1.2×1.2cm の小正方形部分を格子点と呼ぶ。終点の中央を除いたすべての格子点には少なくとも1つの壁が接している。また、迷路全体の外周の壁は全て存在する。

3. 競技に関する規定

- 3-1 マイクロマウスが、始点から終点への走行に要した最短の時間をそのマイクロマウスの迷路通過時間記録とする。マイクロマウス競技においては、迷路通過時間記録および最短時間達成までの過程ならびにその間の自律性を評価する。
- 3-2 操作者は、迷路が公開された後で迷路に関する情報をマイクロマウスに入力してはならない。また競技中にスイッチ操作等で、迷路に関する情報を修正、あるいは部分的に消去することはできない。

- 3-3 迷路の走行は、毎回始点より開始し、始点に戻った時点あるいは2秒以上停止、もしくはマイクロマウスの走行中止が認められた時点で終了する。
- 3-4 マイクロマウスが始点に戻り、自動的に再スタートする場合、始点において2秒以上停止しなければならない。
- 3-5 操作者は、競技委員長の指示または走行中止の許可がない限り走行中のマイクロマウスに触れてはならない。競技委員長は、あきらかに走行に異常が認められた場合、走行中止の申し出を認める。また、それ以外の走行中止の申し出については、迷路に関する記憶をすべて消去することを条件に認める。
- 3-6 マイクロマウスは10分間の持時間を有し、この間5回までの走行をすることができる。ただし、特に必要と認められた競技会については、持ち時間を7分、走行回数を5回、また持ち時間を5分、走行回数を5回とすることがある。
- 3-7 マイクロマウスの床面より5cm以内の部分が全て終点の区画に入ったとき、そのマイクロマウスは迷路を通過したと認められる。ただし、迷路の通過時間の測定は、始点のセンサがマイクロマウスをセンサしてから、終点のセンサが同マウスをセンサする間を計測する。
- 3-8 競技場の照明、温度、湿度は通常の室内環境とする。照明の調節に関する申し出は受け付けられない。
- 3-9 競技委員長は、必要と認められた場合、操作者に対しマイクロマウスについての説明を求めることができる。また競技委員長の判断で走行の中止、または失格の宣言その他必要な措置を講ずることができる。
- 3-10 競技の表彰内容及び評価基準は競技会ごとに定める。

[注 意]

1. 競技中にプログラムのローディングおよびROMの交換を行なうことは許されない。また、競技中にマイクロマウスを本体とは独立した開発装置やコンソールボックスと接続してプログラム実行に関する指示を与えることも許されない。
2. 競技中にタイヤについた埃やごみ等を、粘着テープ等で除去することは許されるが、摩擦力を増やすために、溶剤等を使用してはならない。
3. マイクロマウスは各走行において終点到着後も、さらに迷路の探索を続けることができる。この場合、始点から初めて終点に達するまでの時間を記録とする。
4. マイクロマウスが始点に戻った後2秒以内に再スタートした場合、次回の走行を開始したとみなされるが、その走行の計時記録は無効とする。
5. 調整等のため、走行時を除いて迷路の始点の区画以外にマイクロマウスを置いてはならない。
6. マイクロマウスの寸法について
マイクロマウスの下部構造の大きさは、1-5の規定にかかわらず、迷路の大きさによる制限を受ける。
7. 迷路について
迷路は常識的な工作精度で製作されるため、ある程度の寸法の誤差が生じることがある。また、迷路を組換え可能とするため、壁および床面には1mm程度の隙間あるいは段差が生じることがある。また、色ムラ、変色、汚れなどがある場合がある。
8. 始点・終点のセンサについて
種類:透過型赤外線センサ

光軸は水平であり、床面より 1cmの高さにある。

位置:・始点のセンサ 始点の区画と次の区画との境

・終点のセンサ 終点の入口部分

9. 迷路の終点となる 4 区画内には壁や柱は存在しない。

2. マイクロマウスの基本的なハードウェア構成

マイクロマウスは、コンパクトにまとめられたロボットです。ソフトウェア、ハードウェアの両方がバランスよく組み込まれたマイクロマウスは、現在活躍する技術者が必要とする技術的要素を含んだ構成となっています。

マイクロマウスは、CPU ユニット、センサユニット、モータユニット、電源ユニットなどで構成されています。

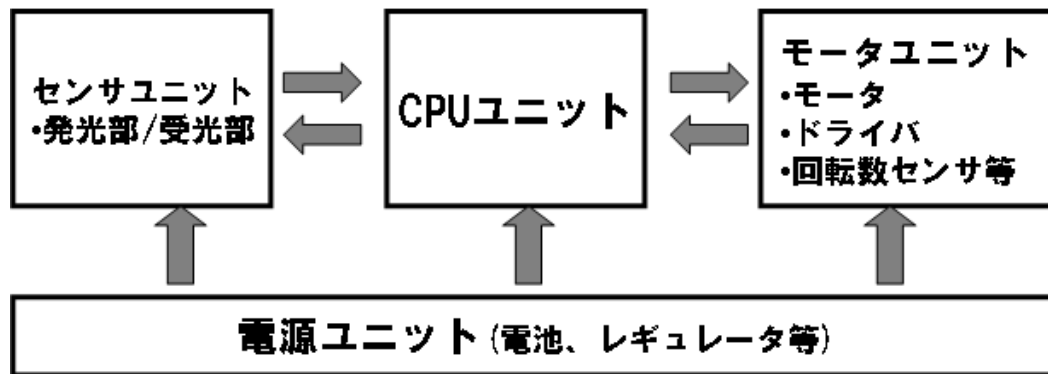


図 1 構成図

2.1 CPU ユニット

CPU ユニットでは、センサからの情報入力、迷路の解析、モータへの信号出力をつかさどります。その他、スイッチからの状態変化や電源管理など、さまざまな情報を統制し、制御を行います。ファームと呼ばれるソフトウェアによって動作します。

CPU ユニットに搭載される主な部品は、CPU、RAM、ROM などのメモリ、スイッチ類などです。電源は CPU の電圧・電流に適合するように調整して供給します。

製作するプログラムはこの CPU ごとに開発環境が変わります。Pi:Co Classic 3 の場合は、RX631(RENESAS)という CPU を使用しています。

CPU³(シーピーユー): ロボットの指令塔です。ROM に記録されているプログラムを読み出して演算・実行し、センサが感知した値により、モータを動かす指令を出します。

ROM⁴・RAM⁵(ロム・ラム): メモリという名のとおり、データを記録しておく部分です。ROM は電源を切っても内容が消えないメモリーで、プログラムを書き込むために特殊なアプリケーション(ファームライターと呼ばれます)を使います。一方の RAM は、電源を切るとデータがリセット(内容が消える)されるメモリーで、プログラムによって読み書きが可能です。従って、迷路探索などアルゴリズムを含めた基本プログラムは ROM に書きこみますが、実行中に変化する迷路のデータや変数の値などは、逐次 RAM に記録して使用します。

³ Central Processing Unit の略

⁴ Read Only Memory の略

⁵ Random Access Memory の略

2.2 センサユニット

ロボットが周囲の環境情報を読み取るための装置を、総じてセンサと呼びます。マイクロマウスでは、各区画の壁情報(壁の有無、壁の切れ目など)を読み取るためにセンサを使用します。マイクロマウスで利用されるセンサの代表的な種類と用途を表にまとめますので、参考にしてください。

2.3 センサの種類

表 1 主なセンサー一覧

センサ	用途
スイッチ	プログラムのモード変更 壁にぶつかったことの検出
赤外線・可視光センサ	壁読み取り用
エンコーダ(フォトインタラプタ+エンコーダ板)	タイヤの回転数検出
ジャイロセンサ	姿勢制御・方向検出

2.4 スイッチ

CPU ユニット上のスイッチも分類としてはセンサに含まれます。基本的な使い方としてプログラムモードの切り替えなどに使います。また、ロボットの側面に取り付けたりして、壁との衝突を検出するためにも使います。

2.5 赤外線・可視光センサ

壁の読み取り用に使います。発光素子と受光素子やフィルタ回路によって構成されていて、これを数セット使います。

● 発光素子と受光素子

発光素子としては赤外線 LED や可視光 LED が、受光素子としては LED に対応した波長のフォトトランジスタなどがよく使われます。横壁式では、センサの発光部から光を壁の側面に反射させ、受光部で受信します。受信した光の量によって、センサから壁までの距離を測ります。センサで受光した値⁶を元に、壁の有無の検出や姿勢制御⁷を行ないます。

● ハイパスフィルタ

発光素子から赤外線を出しっぱなしにして、その光を受光素子で読もうとすると、なかなか正常に動作しません。これは、受光素子が赤外線だけではなく照明など周りの光(外乱光と呼びます)も一緒に読み取ってしまうことが最大の原因です。この対策として、受光側の回路にハイパスフィルタ回路を組み込む方法があります。ハイパスフィルタとは、電圧の急激な変化のみを通過させる回路です。発光をパルス状にして変化を急にすることで、緩やかに変化する外乱光をカットし、赤外線の値だけを読み取ることができます。

⁶ センサの種類にもよりますが、一般的にはセンサが出力する電圧

⁷ ロボットが壁に対してまっすぐ進むようにすること

このセンサを設置する方法としては、上壁式と横壁式があります。上壁式は壁の上側の赤い部分を検出するためのもの、横壁式は壁の横側の白い部分を検出するためのものです。

上壁式の設置方法については以下の説明図を参照してください。

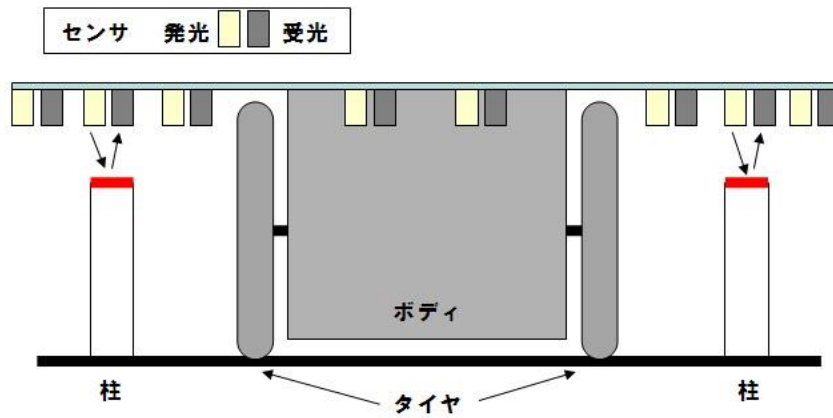
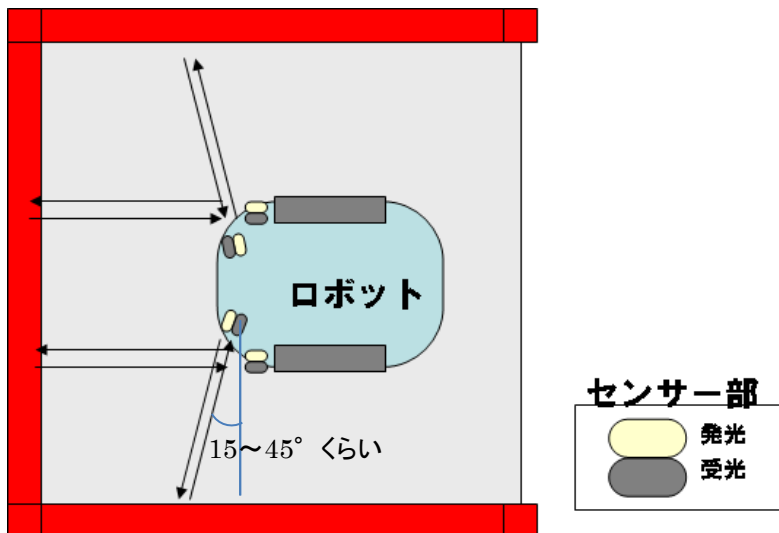


図 2 上壁式のマウスを迷路正面から見た図

赤外線または可視光を上部から照射し、壁を探します。

上壁式は、壁をラインのようにみることができ、わかりやすく初心者向きです。しかしながら、現在では高速なマウスを作る場合は、ほとんど横壁式が採用されています。Pi:Co Classic 3 も横壁式センサを採用しています。

横壁式の設置方法については以下の説明図を参照してください。



横壁用センサは $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ くらいで設置

Pi:Co Classic3 は 30° です。

(角度は迷路の区画に対するロボットの大きさによる)

図 3 横壁式マウスを上から見た図

赤外線または可視光を横部から照射し、壁を探します。一般的には前壁方向に2つ、横壁方向に左右1つずつ設置します。

2.6 モータユニット

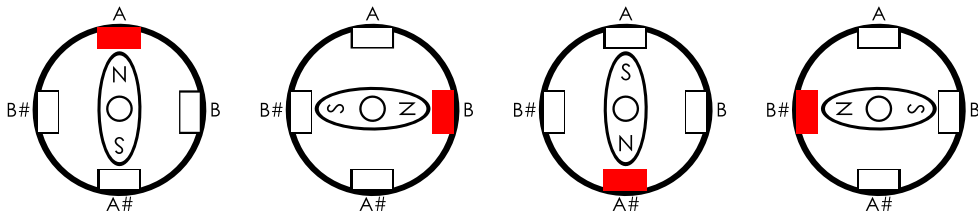
モータは、ロボットを駆動するためのアクチュエータ(駆動装置)の 1 つです。後述の通り、使用目的によっていくつかの種類を使い分けます。

2.7 ステッピングモータ仕様

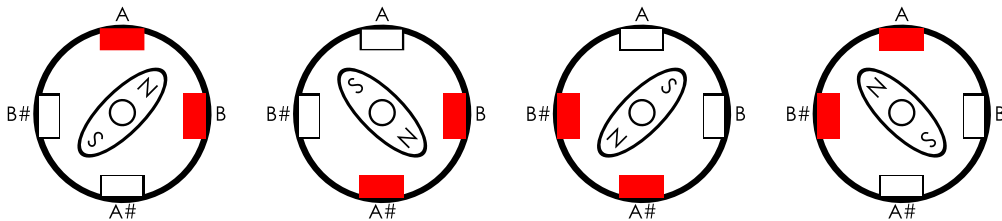
マイクロマウスに広く使われているモータです。パルスを送るたびに決まった角度ずつ軸が回るので、回転角の制御が比較的簡単です。しかし、あまり高トルクには耐えられない、一般的に大きくて重い、などの欠点もあります。モータに指令したパルス数で回転角度がわかるため、回転数を計測するセンサを取り付けずにすむので、初心者には使いやすいモータです。

ステッピングモータは、パルス型の電力に同期して動作するモータで、簡単な構成で正確な位置決めが可能なモータです。巻線への電流の与え方を変えることにより、特性を変えることができ、モータを駆動する励磁の方式も以下のようなものがあります。ステッピングモータのことを、ステッパと呼ぶこともあります。

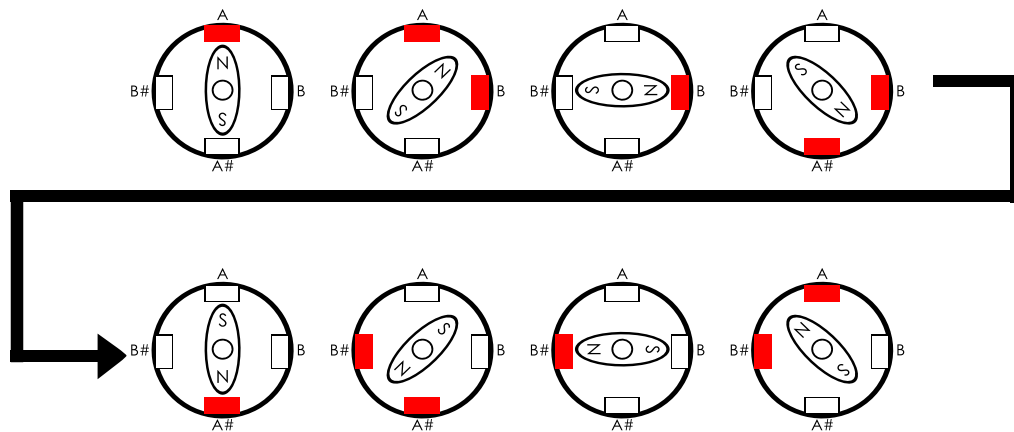
1 相励磁 : 常に巻線 1 相のみに電流を流す。位置決め精度が良い。



2 相励磁 : 2 相に電流を流す。1 相励磁の約 2 倍の出力トルクが得られます。



1-2 相励磁: 1 相と 2 相を交互に切り替えて電流を流します。1 相励磁・2 相励磁の場合のステップ角度の半分にすることができるので、滑らかな回転を得られます。Pi:Co Classic3 はこの 1-2 層励磁を採用しています。



マイクロマウスでは、細かいステップ角とトルクを得るために 1-2 相励磁を用いるのが一般的です。マイクロマウス本体の重量も考慮にいて、脱出トルクの適切なステッピングモータを選びましょう。

一般的にステッピングモータを駆動する場合は、パルスが発生する CPU ユニット、ステッピングモータドライバ、ステッピングモータ、電源ユニットで回路を構成します。電源供給はステッピングモータドライバと CPU ユニットに別々に行い、パルスは CPU で発生させます。パルス発生の間隔を調整することで、加減速を行い、滑らかに駆動させることが可能です。(台形駆動とも言います)

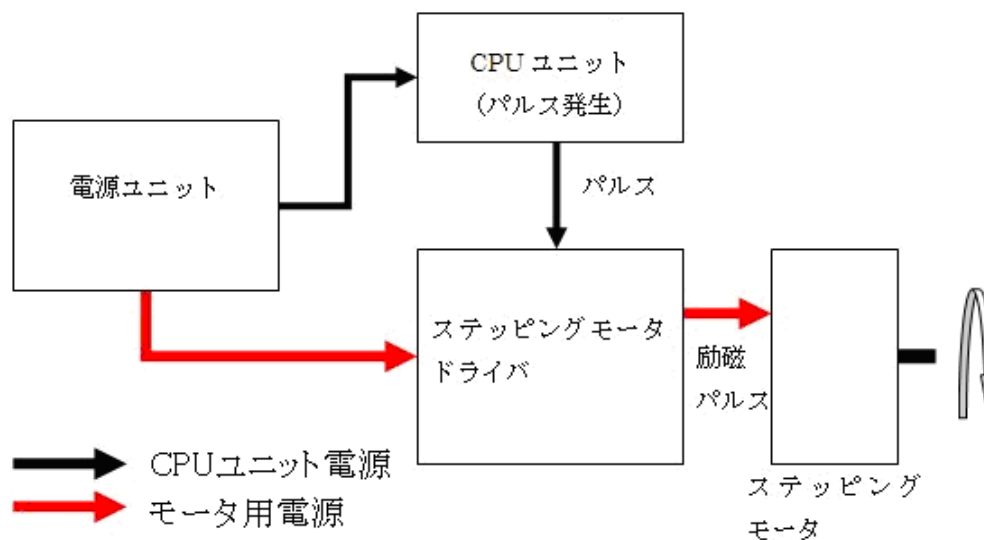


図 4 ステッピングモータの駆動回路(模式図)

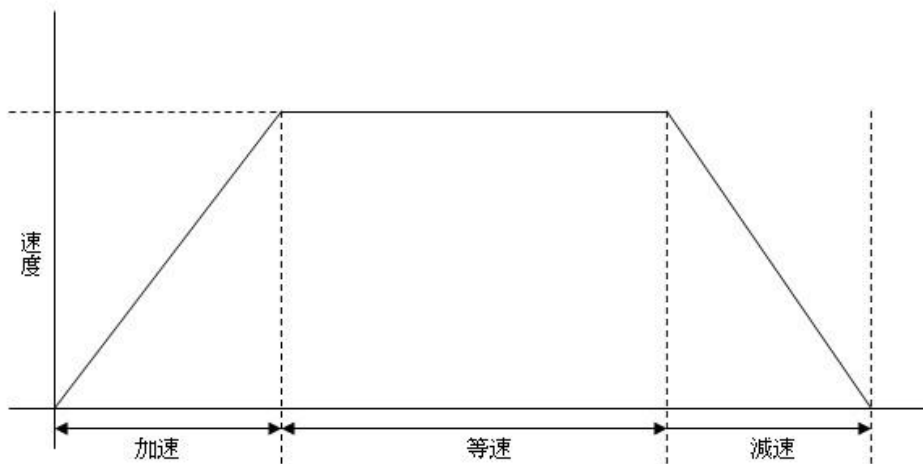


図 5

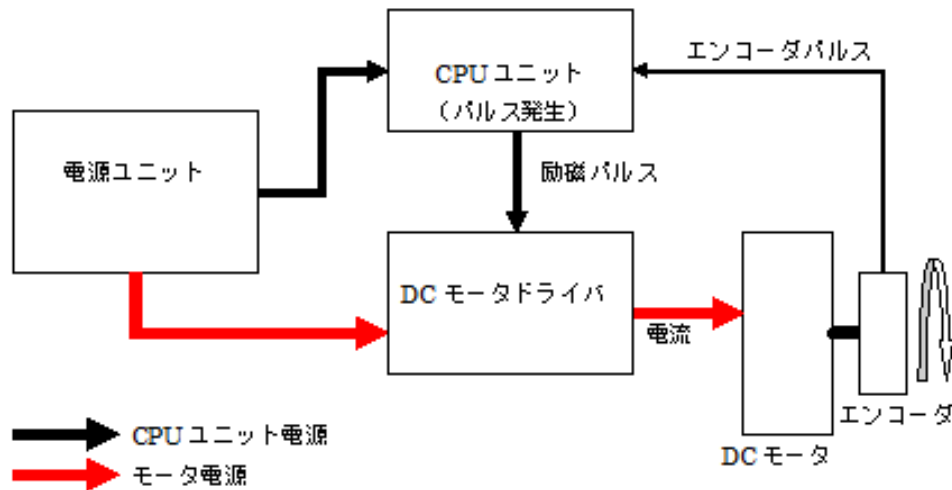
パルスによりローターが回転する方式ですので、スイッチを ON/OFF させる間隔でスピードを変えることが可能です。そのため、加速部分でパルス発生数を多く(最初の間隔よりどんどん短い間隔にして)してモータの回転速度を早めます。等速部分ではパルス数は一定間隔で発生させ、回転を維持します。そして、減速部分ではパルス発生数を少なく(間隔を間遠に)し、最終的にはパルス発生を 0 にします。

2.8 DC モータ仕様

DC モータは、一般的に、モータドライバ、DC モータ、エンコーダなどで構成されます。マイコンから PWM 信号という周期的な信号をモータドライバに送り、モータドライバから DC モータに電流を流すことによって制御しています。DC モータをマイクロマウスで使うには、位置決めをするために回転数や角度を別のセンサ(エンコーダなど)で取得して制御する必要があり、ステッピングモータに比べると構成するパーツ数が増えるために難しいといわれています。しかしながら、一度技術を習得してしまえば、ステッピングモータよりもはるかに使いやすいモータです。

DC モータは、電流を流す向きによって軸の回転方向が変わります。モータドライバには 2 つ以上の入力信号ポートがあり、それぞれに PWM 信号を与えることによって正方向(CW(Clockwise)クロックワイズ、「シーダブリュー」と呼ぶのが一般的)、逆方向(CCW(Counter ClockWise)カウンタークロックワイズ、「シーシーダブリュー」と呼ぶのが一般的)に回転を制御することができます。

また、誤差を少なく位置決めするためには、PID 制御と呼ばれる制御方法が用いられます。P は比例に応じた変化量を示す変数で、I は積分的要素、D は微分要素をさします。積分的要素を除いた PD 制御などもよく使います。PID 制御については専門書がいくつか出ていますので、適切な参考書を探すことをお勧めします。



DC モータの駆動原理

2.9 エンコーダ(フォトインタラプタ+エンコーダ板)

- エンコーダ

車輪やモータの回転数を計測するセンサです。1 相式、2 相式などの読み取り方式や、光学式、磁気式など様々なタイプがあります。

- フォトインタラプタ+エンコーダ板

エンコーダ板等を使用して、スリットの数計測します。Pi:Cohalf に採用されているのもこの方式です。フォトインタラプタの種類によって読める速度が異なります。モータやタイヤの回転数に適合する速度のものを選ぶと良いでしょう。

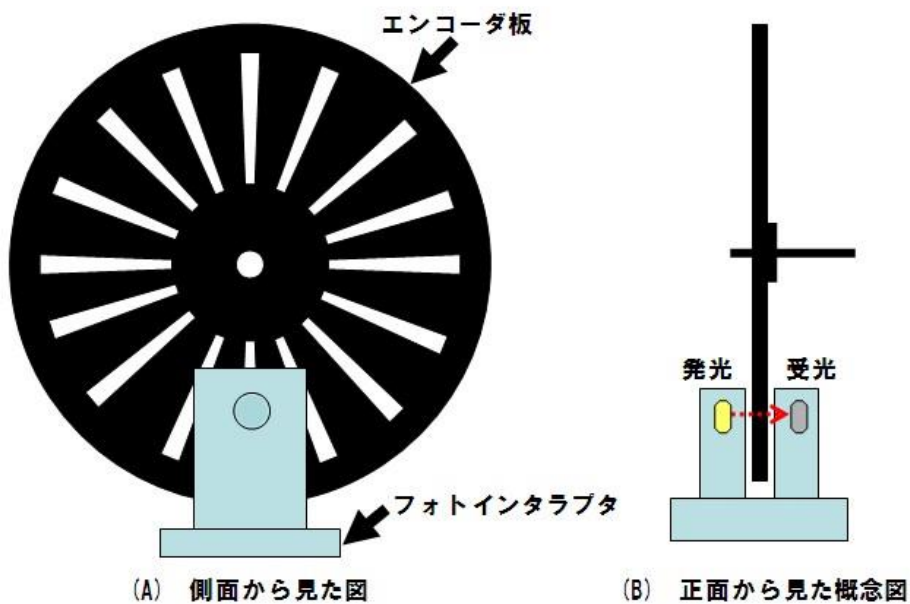


図 6 フォトインタラプタとエンコーダ板による回転数計測

スリットが通過する回数をカウント(受光部が発するパルスをマイコンでカウントする)

2.10 電源ユニット

電源ユニットにはレギュレータが搭載されています。レギュレータは、電圧を変換するための IC、または回路です。一般的に、モータに供給する電源とマイコンに電源を供給するのは、バッテリーが同じでも電圧を変えるために系統を変えることがほとんどです。DC-DC コンバータを使う場合もありますが、一般的には三端子レギュレータと呼ばれる IC を使います。供給する電源電圧は、CPU やモータの定格を守りましょう。IC が焼けたり、モータの焼損の原因となります。

電源の系統を分ける場合は、CPU などの信号系統とモータ系統のグランドレベルを合わせます。しかしながら、モータ系統はノイズが発生しやすいので、ノイズ対策をする必要があります。(グランドレベルがノイズでゆれると信号にもノイズがのってしまいます。)

2.11 バッテリー

ロボットは電源が供給されなければ動きません。マイクロマウスの場合は外部電源を持つことは認められていませんので、本体に電池を積んで走行することになります。効率を考えれば 2 次電池⁸が良いでしょう。以下に、マイクロマウスにおいてよく使われる電池を紹介します。

2.12 リチウムイオンポリマ電池

リチウムイオンポリマ電池は、リポ電池と略されます。小さくて軽く、瞬間的に流せる電流も他の電池に比べて大きく、さらにメモリ効果もほとんど無いためロボット用途にはむいています。しかし他の電池に比べるとやや高価です。過充電やショートを起こすと発火・爆発することもあります。一般的なりチウムイオンポリマ電池は保護回路が入っていますが、取り扱いには細心の注意が必要です。リポ電池はその Cell の数で電圧の大きさが決まります。1Cell 平均 3.7V で、2Cell で 7.4V、3Cell で 11.1V と電圧が大きくなっていきます。(また、全ての電池の放電に関する単位に C を使います。C は容量に対する放電の比率を表し、1C ですと 1 倍、2C ですと 2 倍、3C ですと 3 倍の電流を放電するという意味になります。) 充電する際には専用の充電器を使ってください。(リポ電池は 1C で充電するのが良いでしょう。) 保管する際には充電容量約 90~100% の状態で保管するのが良いと言われています。

また、1Cell 3.3V を切ると過放電となり、使えなくなってしまうです。Pi:Co Classic 3 で使われているリポ電池は 3Cell なので、10V 以下には絶対しないでください。サンプルプログラムでは、10V 以下になるとブサがるように組み込まれていますので、ブザがなったら、速やかに開発を中断し、充電してください。

リチウムポリマ電池を利用するときは、注意事項をよく守って、過放電、過充電にならないように取り扱いましょう。

2.13 ニッケル水素電池

容量が大きく、マイクロマウスに積みやすいサイズであることから、よく使われています。

充電には専用の充電器を使いますが、完全に放電してから充電しないとメモリ効果⁹を起こしてしまうという欠点もあります。しかし、最近の充電器にはリフレッシュ機能¹⁰が付いているものもあるので、それと併せて買えば問題ありません。

⁸ 充電して何度も使える電池

⁹ 電池を使い切らないうちに充電すると放電電圧が低下する現象

¹⁰ 一度電池を完全に放電させてから充電を開始する機能

3. 迷路解析の手法と考え方

マイクロマウスは、スタートからはじまって、ゴールまで迷路を解析し、最短距離を求めて走行する人工知能を駆使した競技でもあります。もちろん、全ての壁についてマッピングしなくてもゴールにたどり着くことはできます。しかし、マイクロマウス競技ではたいていゴールまでの道のりは複数用意されていて、制限時間がある中で最短経路を探し出して好タイムをマークするには、やはり広範囲のマッピングを効率的に行うことが重要です。このために様々な手法が考え出されており、ここでは代表的なものを紹介します。

3.1 マッピングについて

競技開始時点では、マイクロマウスにとって迷路は未知です。このまま闇雲にゴールを目指して走ってもよいのですが、それでは効率的にゴールへの最短路を見つけることができません。したがって、マイクロマウスにはまず迷路全体を探索して、迷路の地図を作ることが要求されます。ルールによればマイクロマウスは競技中に複数回走行でき、その中で最短の記録が採用されますから、試合戦略としてまっすぐにゴールを目指すのはロボットの頭の中に地図を作ってからでも遅くありません。

この「ロボットが迷路を探索して頭の中に地図を作ること」をマッピングと呼びます。マッピングの手法は様々ですが、基本的には次のような考え方に基づいています。次の図を参照してください。

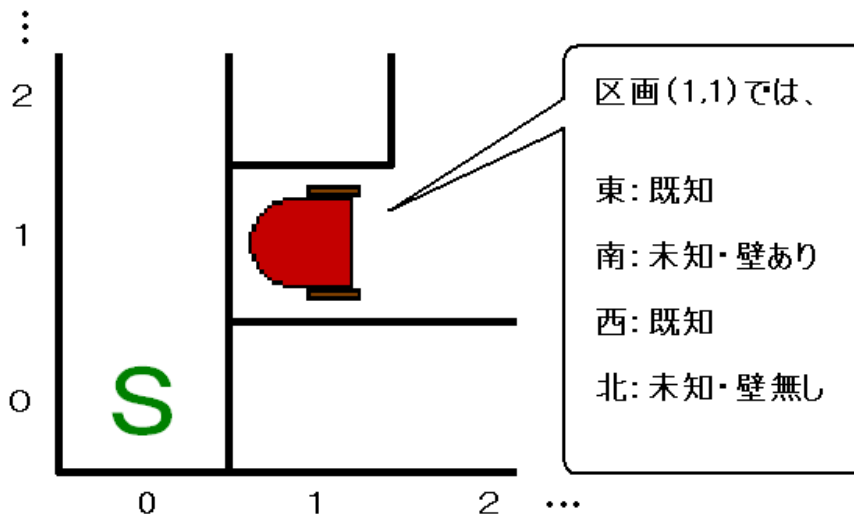


図 7 マッピング

ルールでは、スタート位置は迷路の左端がスタートであり、真ん中の 4 区画がゴールと決まっていますので、スタートとゴールだけは既知です。しかし、それ以外の区画はどのようにになっているのかマイクロマウスにはわかりません。スタートを出て 1 区画目から、マイクロマウスは、その区画の周りの壁の有無を調べた事があるかどうかを判定し、まだ調べていなかった場合は、センサーを使って壁の有無を判定します。迷路を 1 区画進むごとにこれを繰り返していくことにより、マッピングが行われます。まるでダンジョンゲームでマップを作っていくかのような作業となります。全区画を踏破した後はマップが完成しますので、このマップに基づいて最短距離を計算します。次からは効率がよいとされる迷路の探索方法について説明します。

3.2 左手法¹¹

最も簡単な迷路探索法です。図を参照してください。

左手法とは、例えば遊園地などにある巨大迷路に挑戦する時に、左手をずっと壁に付けたままたどっていけばいつか必ずゴールにたどり着ける可能性が高い、という考え方に基づいた探索法です。マイクロマウスで言えば、

左側に壁が無ければ左へ進む

左側に壁があり、正面に壁が無ければ直進する

左側と正面に壁があり、右側に壁が無ければ右へ進む

左側、正面、右側に壁がある場合は来た道を引き返す

という動作の繰り返しです。(図は簡単に左下がスタート、右上がゴールとして描いています)

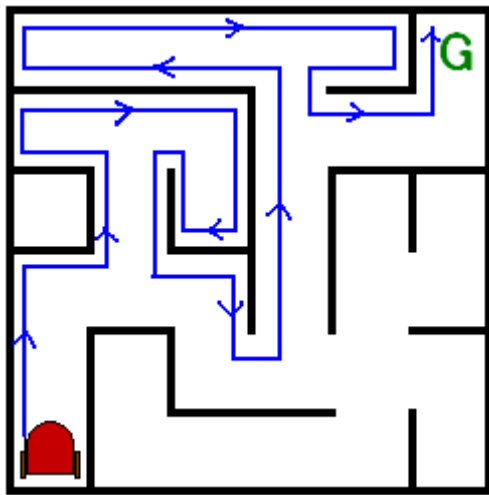


図 8 .2 左手法

3.3 拡張左手法

左手法には大きな弱点があります。図 9 を参照してください。この迷路では、真ん中がゴールになっています。このような迷路の場合、左手法でコースをたどっても絶対にゴールにはたどり着けないということが分かると思います。

¹¹左右を完全に逆にすれば右手法、拡張右手法になります

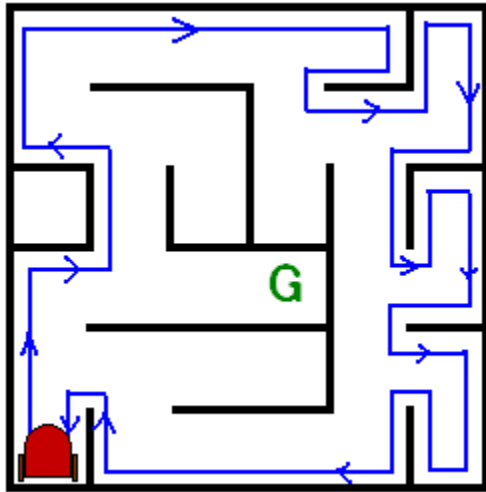


図 9 左手法ではゴールできない迷路もあります

この左手法の弱点を克服しようと考え出されたのが、拡張左手法です。拡張左手法では、1度通ったコースを再び通らないように配慮したものです。詳しく知るために、図 10 を参照してください。この図では、ロボットが左手法に従って左に曲がると、同じコースをぐるぐると回り続けることになってしまいます。よって、これを防ぐために、仮想壁という概念を導入します。

仮想壁とは、実際には壁がない部分にデータの上でのみ存在すると仮定した壁です。もちろん仮想ですから、最短経路を求めるような場合には無視しなければいけません。しかし探索中において、仮想壁は大きな役割を果たします。

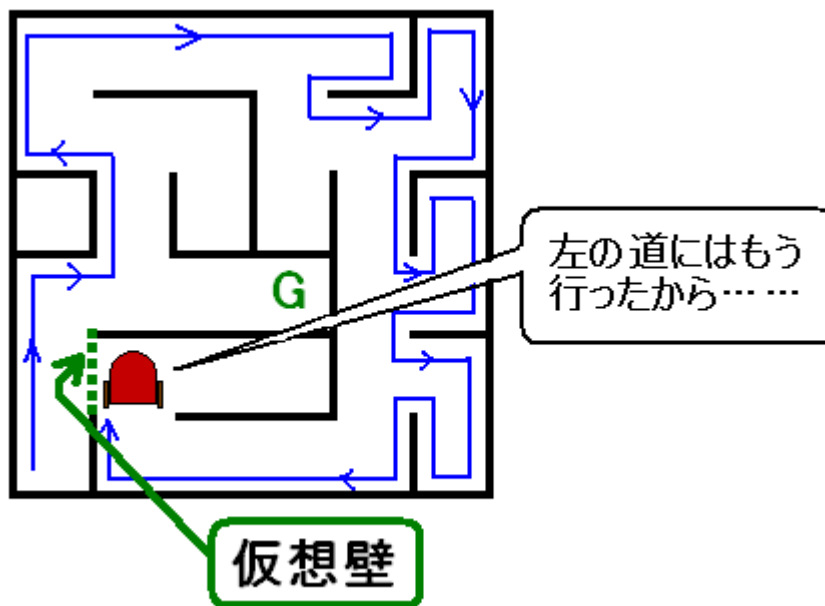


図 10 ループ防止の仮想壁を作ります

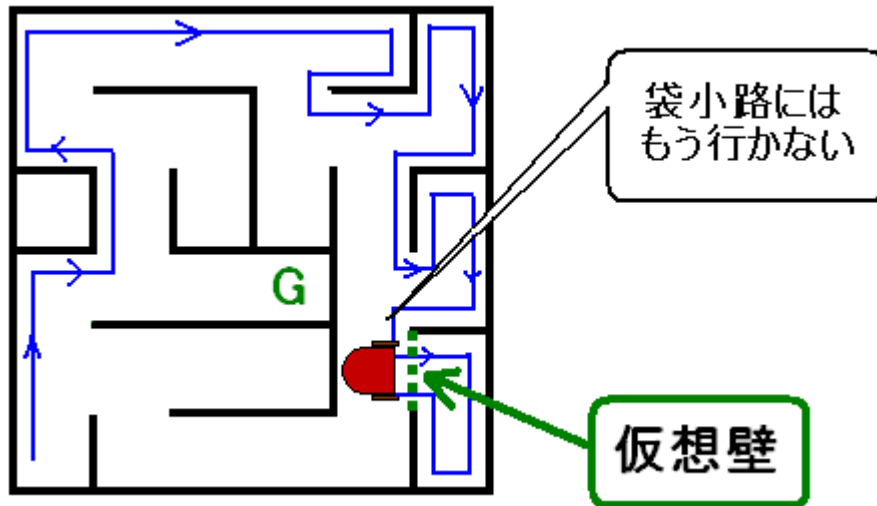


図 11 袋小路にも仮想壁で蓋をします

図 10 に戻ります。この時、左に旋回する前に左の区画の壁が探索済みであるかどうかを判定します。そしてすでに探索済みなら、この探索済みルートへ入る部分に仮想壁を作るのです。探索中はこの仮想壁も壁として認識しますから、もうここから探索済みルートへと迷い込むことはありません。また、図 11 のように袋小路に行き当たったら、一度分岐点まで戻って袋小路の入り口に仮想壁で蓋をしていきます。

このように、進む先が探索済みであればそこに仮想壁をつくり、その上で左手法に従う、という方法が、拡張左手法です。

3.4 求心法

いくらマップをまんべんなく探索しても、ゴールにたどり着くのに時間がかかってしまっただけでは効率がよくありません。そのことを考慮された手法が考え出されました。その1つが求心法です。

左手法では、分岐点に来たときには左→前→右の順に優先して路を選んでいました。しかし求心法では、必ずゴールに近いほうの路を選ぶように工夫がなされています。その工夫が、図 12 の重みマップです。

このマップ中の各数字は、壁を無視した場合にゴールからその区画までにかかる最短歩数(進む区画数)です。未知の経路同士の分岐点にさしかかったときには、この数字を比べて小さいほうを選んで進みます。これによって、ロボットは、迷路を探索しながらも少しずつゴールに近づいていくことができます。人工知能の基本的な探査法として、よく知られた手法の一つで、別名として勾配法とも呼ばれます。

4	3	2	2	3	4
3	2	1	1	2	3
2	1	0	0	1	2
2	1	0	0	1	2
3	2	1	1	2	3
4	3	2	2	3	4

※ 中心の4区画をゴールとしています

図 12 重みマップ

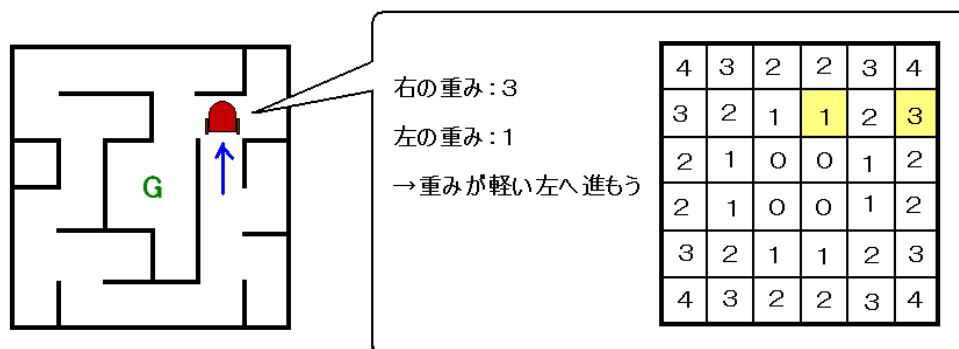


図 13 重みマップを使って進む方向を決めます

3.5 トレモー法

トレモー法は拡張左手法と似た考え方をしますが、「その地点を通った回数」を使うことで効率的に探索しようというものです。トレモー法は以下の 5 つの条件に従ってマイクロマウスを走行させ、マップを作っていきます。(5 つの条件は優先順位順に書いてあります。)

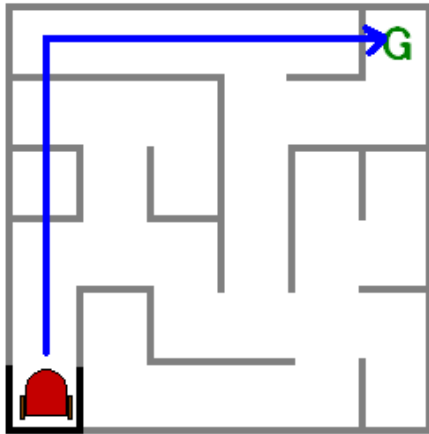
1. 左右とも壁がある地点は直進する
2. 未通過の角では好きなように進む
3. 未通過の地点から通過済みの角についた場合、引き返す
4. 通過済みの地点から通過済みの角についた場合、通った回数の少ない方へ進む
5. 行き止まりの地点は引き返す

3.6 足立法

今までに紹介した探索法では、ロボットは迷路を探索してマッピングを終えてから後述の最短経路を算出します。しかし足立法では、ロボットは1区画進むごとに最短経路を算出します。

スタート時、ロボットは壁の有無を知りません。しかし、未知の部分には壁が無いものと仮定してとりあえずの最短経路を求め、その経路にそって走行します。やがて壁に阻まれて仮定した最短経路を進めなくなると、既知の壁を考慮しての最短経路を求めなおします。これを繰り返しながらスタートとゴールの往復を繰り返し、求めた最短経路中に未知の区画が無くなったら探索終了です。具体的な例を図14～図16に示します。

※黒い壁:探索済み 灰色の壁:未探索



探索していない部分には壁がないと仮定して、最短経路を求めます

図 14

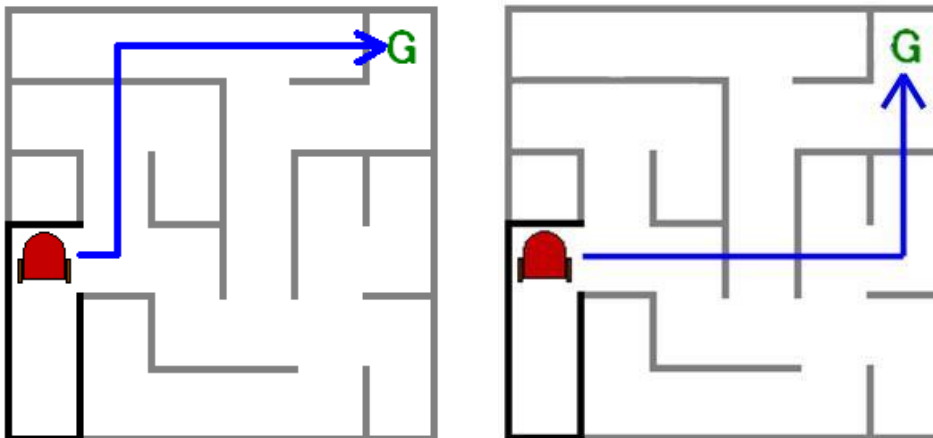


図 15

求めた最短経路の通りに走行しようとしたら壁に阻まれてしまいました。

こうなったらもう一度最短経路を求めなおします。

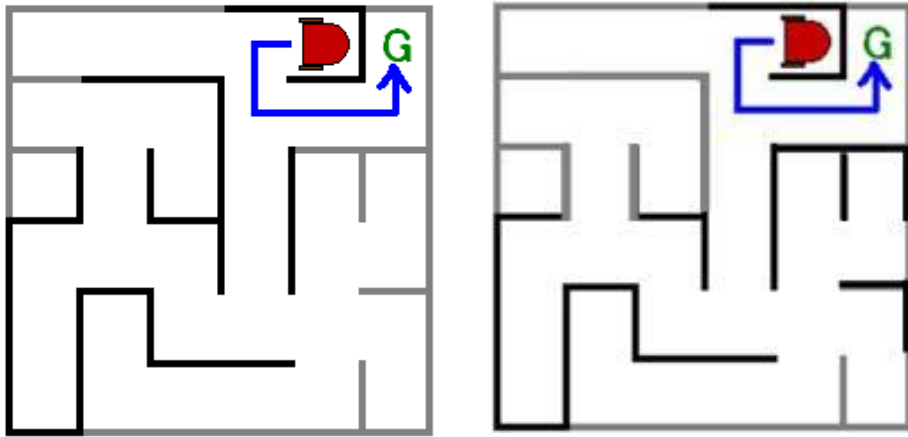


図 16

これでゴールです。

3.7 最短経路の求め方

これまで紹介してきたアルゴリズムのいずれにおいても、最短経路を求めるために、歩数マップという考えを導入します。

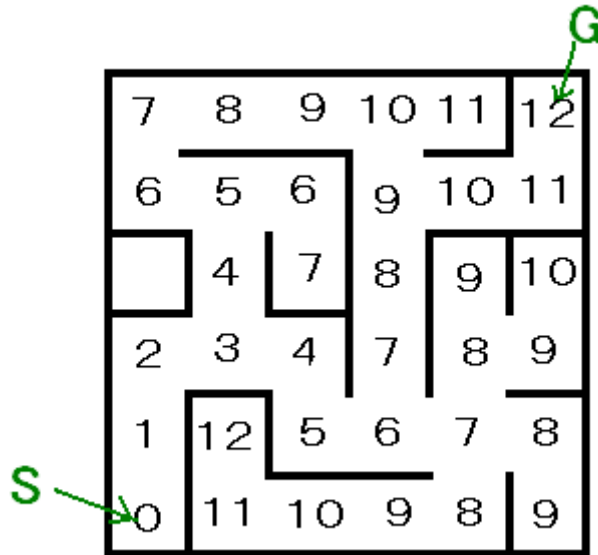
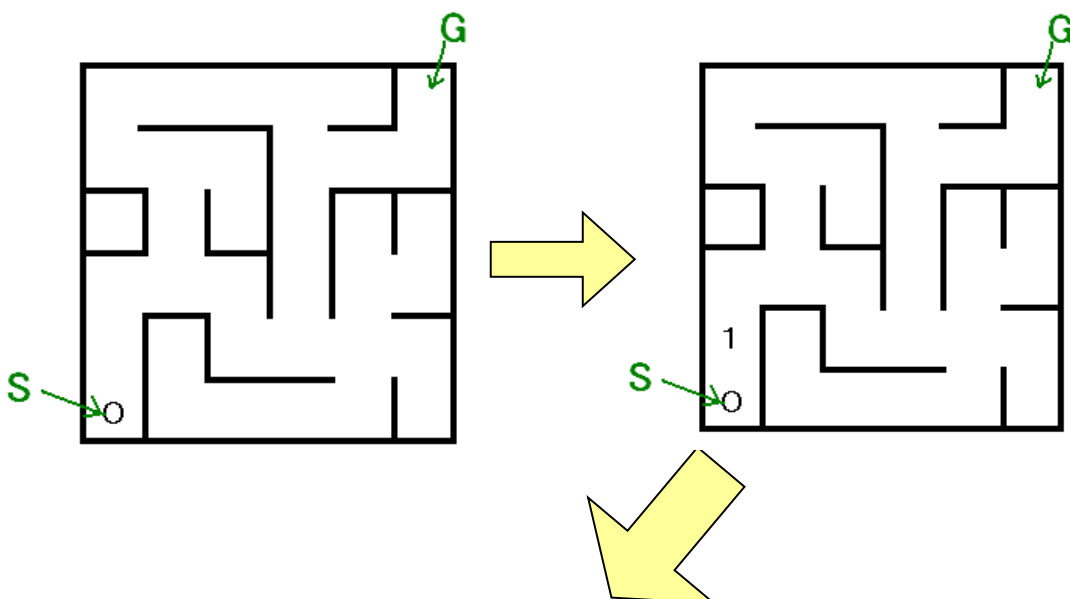


図 17 歩数マップ(S はスタート、G はゴール)

歩数マップとは、迷路状の各区画までロボットがたどり着くまでに要する歩数を表したマップです(図 12)。この歩数マップの作り方の原理を説明します。図 13 を参照してください。

まず、スタート地点の歩数は0です。そして、そこから壁の無い方向(=進める方向)に1歩進んだ部分の歩数は1です。

このように、隣り合い、かつ進める区画にむかって1ずつ数字を増やしていきます。隣の区画にすでに数字が書き込まれている場合は、小さいほうを優先します。求めたいのは最短歩数だからです。このようにしてマップを数字で埋めていって、ゴールの区画に数字が書かれた時点で歩数マップの作成を完了します。



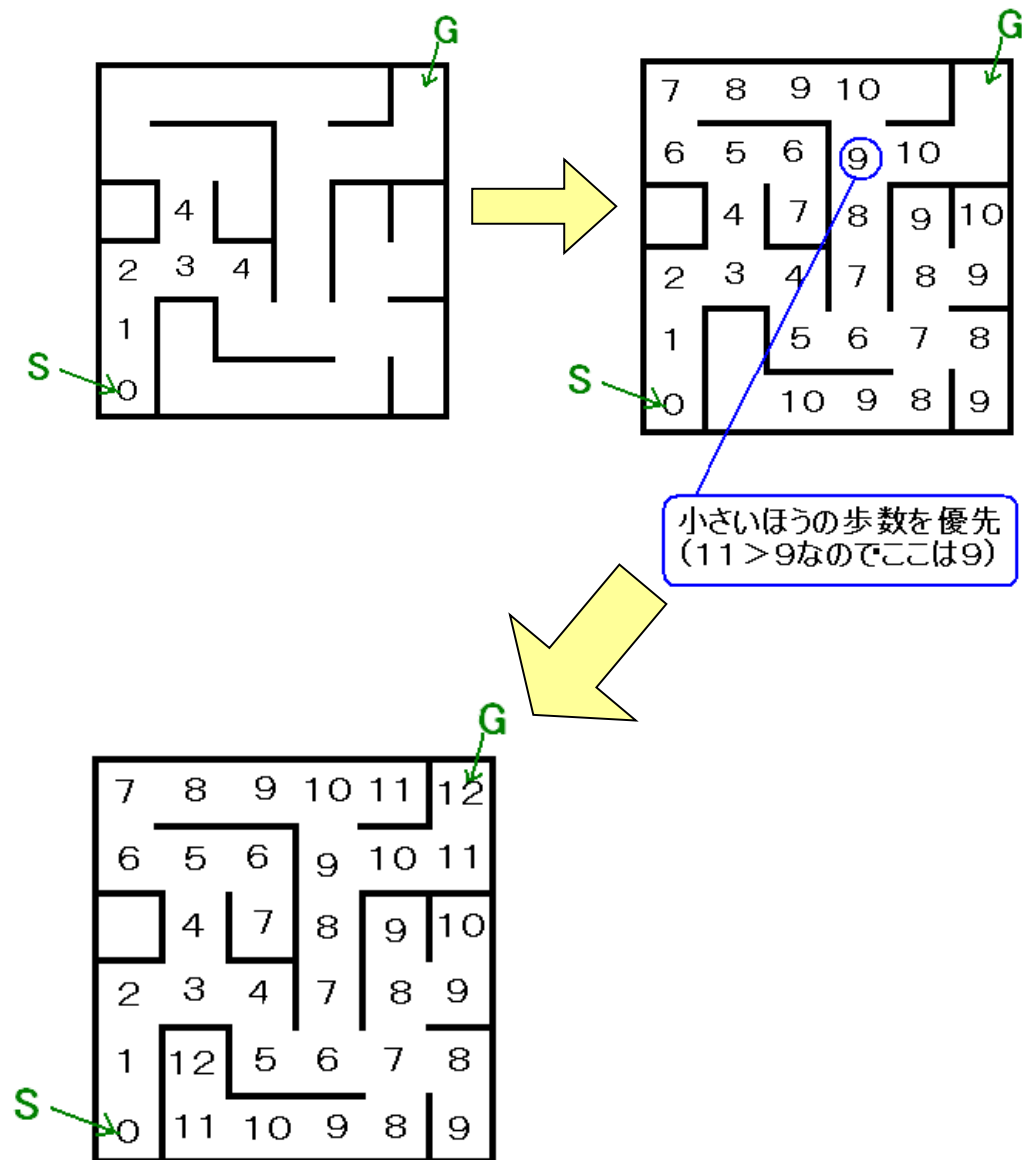


図 18 歩数マップの作り方

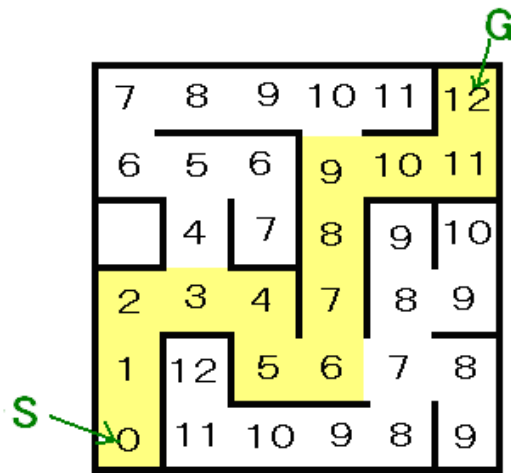


図 19 最短経路を求める

あとは、ゴールから数字が1つずつ減っていくようにたどっていくと、そこが最短経路になっています。

また、マイクロマウスのような複雑な迷路になると、最短経路が複数あることもよくあります。そのような場合は、直進経路が多い方のルートを優先させるのが良いでしょう※。歩数マップを作る段階で、旋回する場合は1歩余計に歩数がかかるとして計算するという方法もあります。

※機体の特性を考慮して優先度を決めます。直進性がよい機体は直進を、直進よりスラロームが得意な場合は曲がるルートをとるのも問題はありません。

いずれにしても、独自のアルゴリズムを考えるのがマイクロマウス競技の醍醐味です。ここで紹介したものを参考にいろいろなアルゴリズムを考案してどんどん知的に制御していきましょう。

4. 備考

- 参考文献

マイクロマウス 20 周年座談会

http://www.ntf.or.jp/archives/zadan/taidan_01.pdf

http://www.ntf.or.jp/archives/zadan/taidan_02.pdf

http://www.ntf.or.jp/archives/zadan/taidan_03.pdf

- 著作権について

本取扱説明書で紹介、または記載されている会社名、製品名は、各社の登録商標または商標です。

本取扱説明書に掲載している文書、写真、イラストなどの著作物は、日本の著作権法及び国際条約により、著作権の保護を受けています。インターネット等の公共ネットワーク、構内ネットワーク等へのアップロードなどはおよび株式会社アールティの許可無く行うことはできません

5. 改版履歴

発行日	ページ	改訂内容
2016/6	-	新規発行
2017/4	11	横壁センサの角度の測定方法を図 3 に追加
	12～13	1-2 励磁、一・二励磁と数字と漢数字が混じっていたので数字に統一。
	12	Pi:Co Classic3 の励磁方式が 1-2 相励磁であることを追加。
	13	台形加速 → 台形駆動に変更
	16	サンプルプログラムを使用していると 10V 以下になるとブサで知らせてくれることを追加

6. お問い合わせ

本製品に関するお問い合わせは、下記までお願いします。

株式会社アールティ

〒101-0021 東京都千代田区外神田 3-2-13 山口ビル 3F

E-mail: shop@rt-net.jp

URL: <http://www.rt-net.jp/>