

プログラミングでライトレーサを走らせよう！

○山中 卓也¹, 古川 和弥², 嵩原 綱吉¹, 松下 雄貴²

産業科学研究所 技術室¹ 計測班² 工作班

t-yamanaka@sanken.osaka-u.ac.jp

1. はじめに

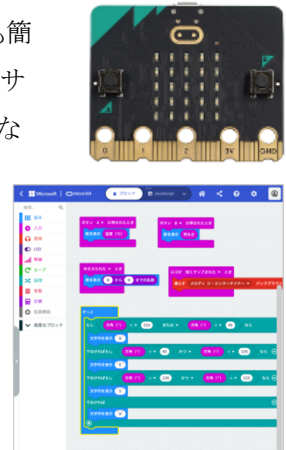
毎年恒例の産研ものづくり教室のテーマとして、2024 年は「プログラミングでライトレーサを走らせよう」を実施した。主担当者を筆者が務めた。プログラミング可能な micro:bit をもちいたライトレーサを作製するという内容で、行事報告「2024 ものづくり教室」でも報告したように、好評のうちに終えることができた。ライトレーサの製作にあたり様々な工夫を行っており、技術的な内容について紹介する。

2. micro:bit とプログラミング

micro:bit は英 BBC 社が開発した教育用マイコンボードであり、子供たちや初心者でも簡単にプログラミングや電子工作を体験できるように設計されている。温度センサ、加速センサなど 5 つのセンサや表示のための 5x5 の LED、入力のボタンもあり、それだけでさまざまなプログラミングが可能である。モータ等と接続することで外部機器の制御も可能であり、今回のようなライトレーサを作製可能である。プログラミングも初心者にもわかりやすいブロックプログラミングが可能となっている。ブロックプログラミングとは、命令や処理の単位を「ブロック(積み木)」のような形で組み合わせてプログラムを作成する方法である(図 1)。

図 1 micro:bit(上)

ブロックプログラミング(下)



3. 作製したライトレーサ

ライトレーサの外観は図 2 のようになっている。この車体は実験で用いるシャーレを用いており、これにレーザ加工による穴あけやカラスプレーによる着色を行っている。筆者が親しみやすい丸い形状の車体にしたいということで、安価で回路やモータの配置にちょうどよい大きさであるシャーレを使うことを発案した。車体を開けると、電子回路とモータが組み込まれている。電子回路は micro:bit からの信号をモータに伝達するためのものであり、基板は専用基板を作製した。micro:bit からの制御が容易であるサーボモータを用いている。

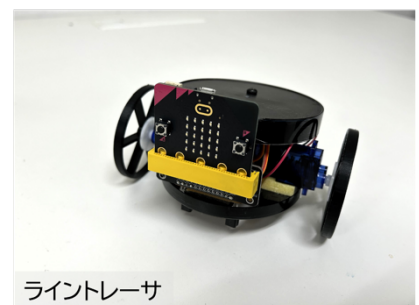
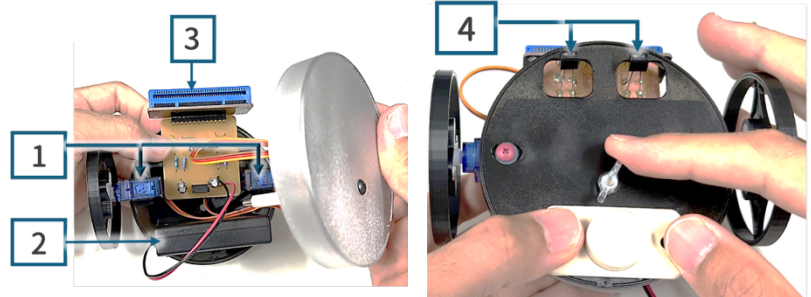


図 2 ライトレーサの外観

3.1 ライトレーサの各パーツ

ライトレーサのカバーを開けると、内部には走行や制御に必要な電子部品が組み込まれている(図 3)。1 は、進行方向の制御を担うサーボモータであり、2 は本体に電力を供給する電池ボックスである。3 は、プログラムの実行を行う



micro:bit を差し込むためのコネクタ付き電子回路基板であ

図 3 ライトレーサの各パーツ

り、4 は地面の白線や黒線を読み取るためのフォトリフレクタである。これらの部品が連携することで、ライトレーサは

自動でラインに沿って走行することが可能となる。

3.2 ライントレーサの原理

今回作製したラインレーサの原理について説明する。フォトリフレクタにより、描かれたラインの白黒を判別する。フォトリフレクタは図 4 のように赤外線を照射し、その反射光を受信することで表面の明暗を検知する。白い部分は赤外線を反射するため受信でき、黒い部分は反射が弱く受信できないため、それによって白黒の判別が可能となる。

このフォトリフレクタを 2 つ並べて配置することで、ラインの左右位置を検出できる。図 5 に示すように、両方が黒を検出している場合は、ラインの中央にいると判断できるため、左右のモータを等速で駆動させて直進する。左が白、右が黒を検出しているときは、ラインレーサは線の左側に位置しているため、左のモータをより多く回転させて右に曲げ、ライン上へ復帰させる。反対に、右が白、左が黒の場合は、左に曲げるように制御する。これらのモータの制御は、micro:bit に書き込まれたプログラムによってリアルタイムに実行される。このように、フォトリフレクタの入力に応じてモータを制御することで、描かれた黒線の上をなぞるように走行し続けることができる。

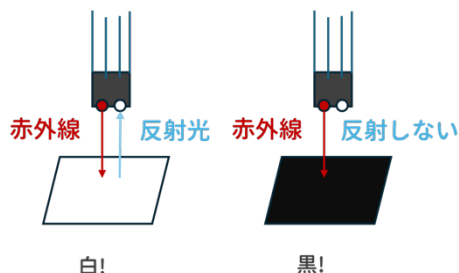


図 4 フォトリフレクタによる白黒の判別

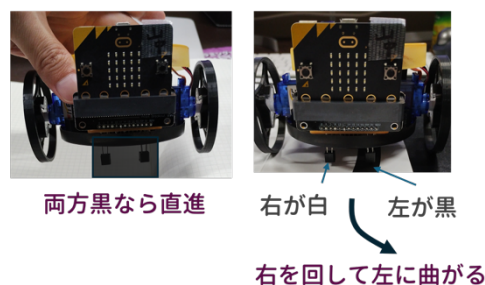


図 5 ライントレーサの原理

4. ライントレーサの詳細設計

4.1 micro:bit による電子回路の制御

ラインレーサに必要な入力線を読み取るフォトリフレクタ 2 つであり、出力は左右 2 台のサーボモータである。micro:bit は外部のセンサ等の入出力は、下部の端子があり、そこから行う。0, 1, 2 とある端子は入出力をミノムシクリップなどを用いて接続できるが、今回は出力 2/入力 2 の 4 端子必要なため、足りない。よって市販の micro:bit 接続用コネクタを用いて 4 端子使えるようにする。また、3V とある端子から電源を供給可能であるが、サーボモータは 3V では動作しないため、別途電源が必要となる。単 3 電池 3 本を用いて、サーボモータ 2 つと、3 端子レギュレータにより 3.3V に降圧してフォトリフレクタを動かす。回路図を図 6 に示す。

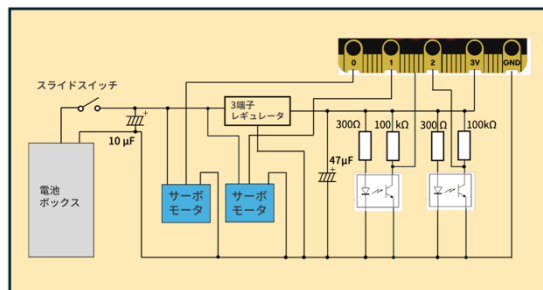


図 6 ライントレーサ回路図

4.2 ライントレーサのアルゴリズム

前項に示した回路を用いてフォトリフレクタとサーボモータを制御し、2 章で示した原理に基づいてラインをトレースするアルゴリズムを作成した。処理は無限ループで行い、一定間隔 (30 ms) ごとにフォトリフレクタの値を読み取って白黒を判定する。その結果から現在位置を判断し、それに応じてモータの動作を制御する。アルゴリズムの概要を図 7 に示す擬似コードとして示す。

```
■ラインレーサのアルゴリズム
しきい値 = 55 // 黒か白かを判定する基準値

ループ (無限) :
  左入力 = 左フォトリフレクタの読み取り値
  右入力 = 右フォトリフレクタの読み取り値

  // 線の上にいる (両方黒)
  if 左入力 > しきい値かつ 右入力 > しきい値:
    左モータ速度 = 標準
    右モータ速度 = 標準

  // 線の右側にいる (左が黒・右が白) → 左に寄せる
  else if 左入力 > しきい値かつ 右入力 <= しきい値:
    左モータ速度 = 低速
    右モータ速度 = 高速

  // 線の左側にいる (左が白・右が黒) → 右に寄せる
  else if 左入力 <= しきい値かつ 右入力 > しきい値:
    左モータ速度 = 高速
    右モータ速度 = 低速

  // 線を見失った (両方白) → 右に旋回しつつける
  else:
    左モータ速度 = 高速
    右モータ速度 = 停止
```

図 7 ライントレーサのアルゴリズム

5. 詳細設計における創意工夫

5.1 回路設計 (担当: 古川)

回路設計では、まずユニバーサル基板を用いて試作を行い、組み立てに要する時間を測定した。その結果、ユニバーサル基板では作業時間が長くなりすぎることが分かったため、組み立て時間を短縮する目的で専用基板を設計・製作することとした。専用基板は基板作成ソフトウェアで設計し、試作工場の NC フライス盤で製作した。設計段階では、各種電子部品の配置を最適化するために何度も検討を重ね、特に子供たちがはんだ付けを行う際に作業しやすいよう、部品間隔が狭くなりすぎないように配慮した。また、ボディ設計との連携も重要であり、フォトリフレクタの地面からの距離が一定になるよう配置を検討した (図 8)。

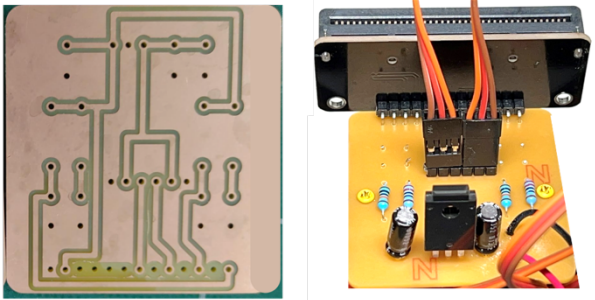


図 8 ライトレーサの回路基板と完成した電子回路

5.2 ボディ設計 (担当: 嵩原)

当初は筐体やタイヤを段ボールで製作していた (図 8 左) が、剛性が不足しており、バランスを取りづらかった。また、部品の接着には両面テープやボンドを用いていたため、固定が甘く、動作中にぐらつきが生じて安定した走行が難しかった。改善にあたり、ボディ設計担当者が近くにあったシャーレを筐体として利用することを思いついた。シャーレは安価で入手やすく、部品配置の収まりも良好であったうえ、主担当者が希望していた「丸くて親しみのある形」にも適合していた。このため、筐体をシャーレに変更し、基板やモータ、電池ボックスなどの固定はネジ止めを中心とすることで安定性を向上させた。ネジ穴はレーザー加工機で精度よく加工し、部品の取り付け精度を高めた。さらに、基板やモータ、タイヤを安定して保持できるよう、ホルダーとタイヤを 3D プリンタで作製し、全体の剛性と耐久性を改善した (図 9)。

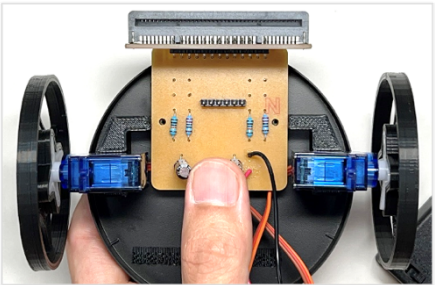
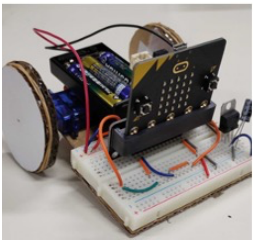
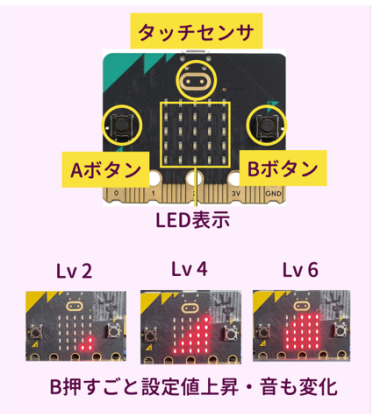


図 9 ダンボールでの初期設計時 (左) と完成版 (右)

5.3 プログラム (担当: 嵩原)

モータには個体差があるため、同じプログラムでも走行の挙動に差が生じることがあった。そこで、プログラム自体を変更せずに走行速度を微調整できるよう、左右モータの速度を A ボタンまたは B ボタンで 7 段階に変更できる機能を実装した (図 10 左)。設定値は内部的には数値で保持しつつ、視覚的な表示と音によって利用者が容易に確認できるようにした。さらに、入力手段が A ボタン・B ボタン・タッチセンサの 3 種類に限られる制約を克服するため、A ボタンを押すたびに「メニュー 1」「メニュー 2」…と順に切り替わるメニュー形式を導入し、開始・停止・左モータ・右モータなど 4 つ以上の機能を選択・操作できるように拡張した (図 10 上)。



モード	動作
0	最初のモード。メロディが鳴り、LEDが表示される。
1	ライトレースが止まる。
2	Bボタン押すごとに左側サーボモーターの回転速度上がる。
3	Bボタン押すごとに右側サーボモーターの回転速度上がる。

図 10 モータの調節の仕組み(左) 各モードについて(上)

5.4 実験による動作テスト

フォトリフレクタの最適な設置距離やサーボモータの最適な入力角度は、仕様書や理論だけでは正確に求められず、実際に計測して確認する必要がある。そこで、実験による動作テストを行った。まずフォトリフレクタについては、試験回路を用いて白色および黒色の対象に対し、距離ごとの出力電圧を測定し、最適な設置距離を特定した (図 11 左)。次に、サーボモータの個体差や最適な入力角度を把握するため、レーザータコメータで回転数を測定し、その結果をプロットして比較・分析した(図 11 右)。

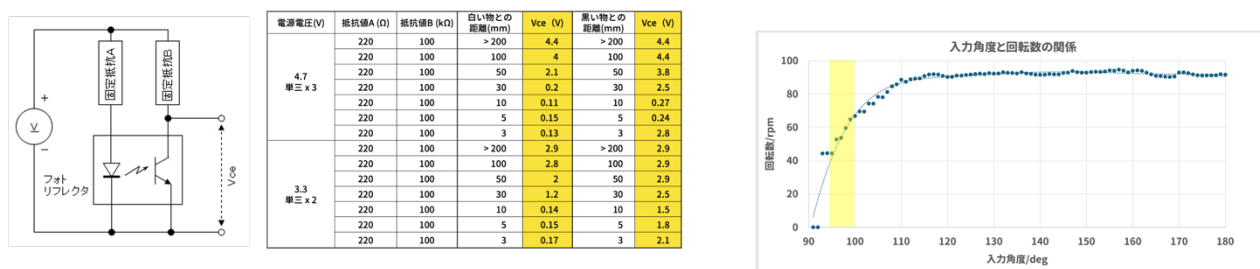


図 11 フォトリフレクタの設置距離ごとの出力電圧(左) 入力角度と回転数の変化 (右)

5.4 3D プリンタの活用 (担当: 松下)

今回のライントレーサでは、試作工場に備えられた 3D プリンタを多方面で活用した。タイヤについては、ネジ穴で確実に固定でき、車体のシャーレと同様に大きめで親しみやすい形状とすることを目的に設計したが、市販品では条件を満たすものが少なかったため、3D プリンタで製作した (図 12)。ホルダーについても、オリジナル基板をシャーレにぴったりと固定できる構造を実現するためには 3D プリンタによる製作が最適であった。これらの部品は必要な位置にネジ穴を設けることで安定した固定が可能となり、基板も正確に取り付けられるようになった。また、家庭ではあまり馴染みのない 3D プリンタを使ってタイヤを製作する実演も行い、参加した子どもたちや保護者に、実際に稼働する様子を間近で見てもらう機会を提供した。

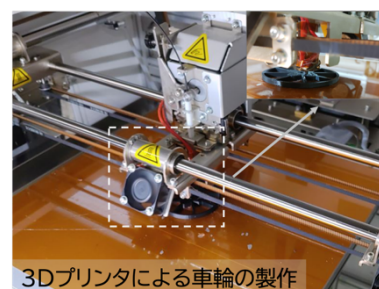


図 12 3D プリンタによる車輪の製作

6. まとめ

本稿では、産研で実施した「プログラミングでライントレーサを走らせよう！」で作製したライントレーサについて、詳細な設計やアルゴリズム、そして各所に施した創意工夫について述べた。若手技術職員の活躍により、完成度の高いライントレーサを製作し、参加者に提供することができた。micro:bit は、他のセンサを組み合わせることでさらなる機能拡張が可能であり、たとえば音声認識による動作や超音波センサによる障害物検知などを備えたライントレーサへと発展させることもできる。今後は、このような拡張や新機能の実装についても検討を進めていきたい。