

講師用

ロボット博士養成講座

ロボティクスプロフェッサーコース

センサーロボット③

(第5回/第6回テキスト)

必ず、生徒に授業日と自分の名前を記入
させるようご指導をお願いいたします。

だい かい じゅ ぎょう び
第5回授業日 2024年 月 日

だい かい じゅ ぎょう び
第6回授業日 2024年 月 日

な まえ
名前



ロボット博士養成講座
ロボティクスプロフェッサーコース

2024年12月授業分

ロボット博士養成講座

ロボティクスプロフェッサーコース

センサーロボット③

第5回

エンコーダーを使う

講師用

目 次

0. エンコーダーを使う

0.0. 「エンコーダーを使う」でやること

0.1. 必要なもの

1. エンコーダーを使ってみよう

1.0. エンコーダーについて

1.1. エンコーダーの活用

1.2. 姿勢検出シールドの組み込み

1.3. エンコーダー基板の動作確認

1.4. エンコーダー基板をモーターに組み込む

1.5. エンコーダー基板の接続（配線）と動作確認

1.6. エンコーダーの原理

1.7. エンコーダーを使ってみよう

2. まとめ

○ 授業開始にあたって

授業のはじめは、着席させ、大きな声であいさつしてから始めます。

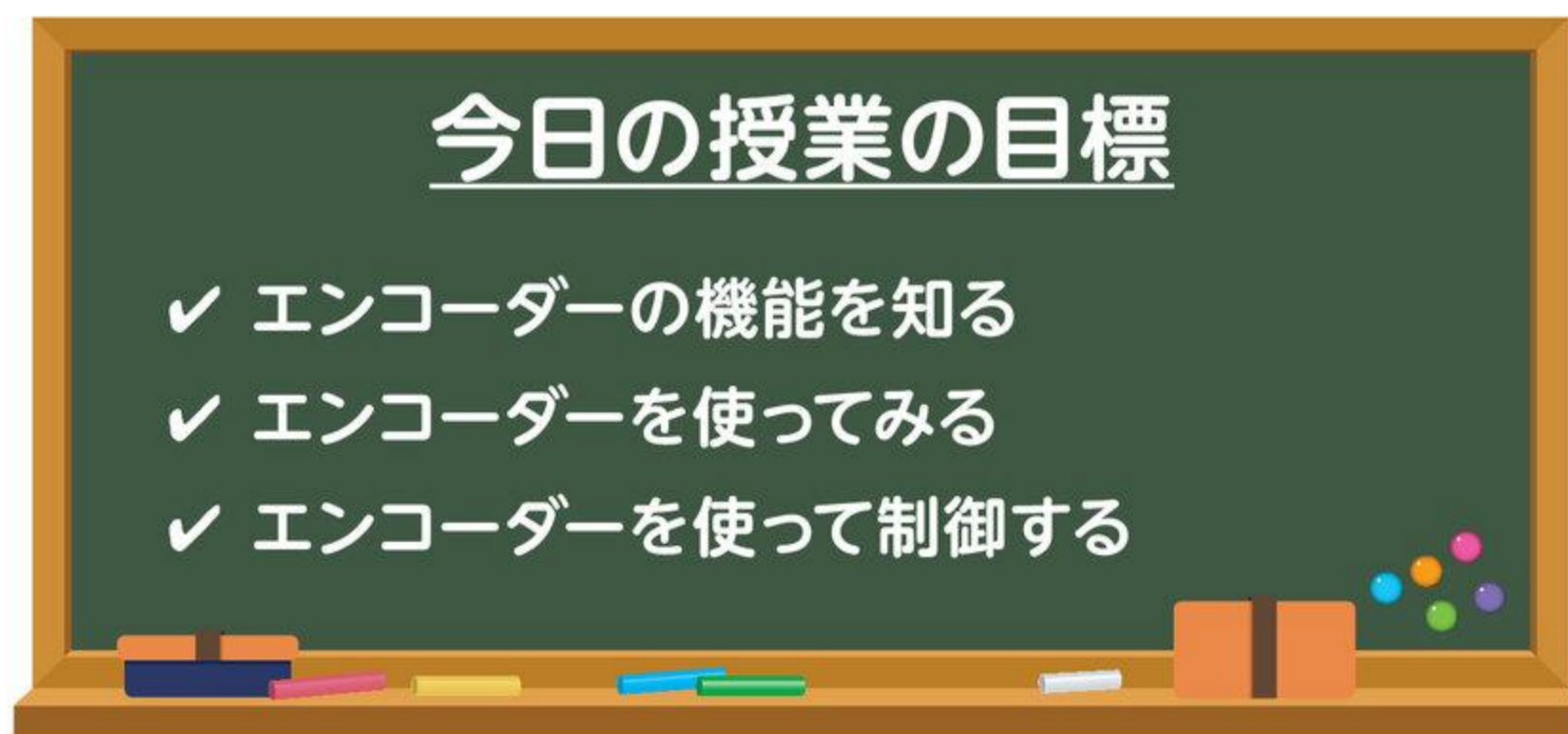
○ 今回の目標をパネルで用意するか、黒板に予め書いておきます。

（授業の目標を明確化することは大変重要なことですので、生徒によく理解させます）

目安時間は授業時間 120 分のうち、休憩 10 分程度取ることを想定しています。
生徒の進捗状況により、休憩時間などを調整して授業を行ってください。

0. エンコーダーを使う (目安 10分)

0.0. 「エンコーダーを使う」でやること

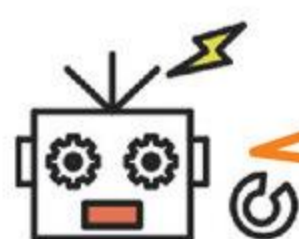


第1回から第4回までは、超音波距離センサーやカラーセンサーなどからの情報をもとに、迷路を探索するアルゴリズム（動作手順）を学びました。第5回となる今回は、エンコーダーというセンサーをロボットに組み込んでいきます。

さて、「エンコーダーって何？」という人も多いかもしれません。

「エンコーダー」とは、さまざまな装置が回転したり水平移動したりするときの、移動方向や移動量や角度を検出するための電子部品です。ロボットがどれくらい動いたのか、どれくらいの速度で動いているのか、といった情報を検出できるセンサーです。動きを数値化するもの、とってください。

では、エンコーダーを使うとどんなメリットがあるのでしょうか？たとえば、オムニホイールロボットでは、上手く動かすために何度もモーターの回転速度を調整しましたよね。それは、「ロボットが何秒走ったら何センチ進む」といった情報が正確にわからなかったからです。また、モーターなどの個体差によっても微妙に速度などが変わっていました。しかし、エンコーダーを使うことでこの課題はある程度解決できます。ロボットの動きを細かく指定できますし、自分のつくったプログラムを他の人のロボットに書き込んでも、ほぼ同じ動きをするようになるわけです。つまり精度があがり、再現性も高くなるというメリットがあるわけです。今回はそんなエンコーダーを使って、ロボットを正確に動かすために必要な知識を学んでいきましょう！



エンコーダーを使って、ロボットをより正確に動かそう！

0.1. 必要なもの

今回必要になるのは以下のパーツです。前回まで使っていた「センサーロボット」を分解して必要なパーツを準備しましょう。エンコーダーディスク、エンコーダー用シールは2年目セットに入っていますので取り出してください。エンコーダー用シールは折り曲げないように慎重しんちょうに扱きましょう。

ラジオペンチ 1	ドライバー 1	USB ケーブル 1	マイコンボード 1
			
ロボプロシールド 1	ギアドモーター 2	タッチセンサー 1	モーターL字ステイ 2
			
マトリクスLEDシールド 1	センサーケーブル 2	オムニホイール 2	M3 ナット 4
			
M3L25 ネジ 4	7セグメントLED 1	姿勢検出シールド 1	エンコーダー基板 2
			
エンコーダーディスク 2	エンコーダー用シール 2	M2.3L25 ネジ 2	
			

図 0-0 必要なもの

1. エンコーダーを使ってみよう (目安 90 分)

1.0. エンコーダーについて

ロボットを組み立てる前に、「エンコーダー」とは、どのようなものを学習しましょう。

1) エンコーダー基板のづくり

エンコーダー基板を見てみると、**図 1-0**のように小さな黒い部品があります。これがエンコーダーの心臓部である「フォトリフレクタ」と呼ばれるものです。**U1**、**U2**の2つがあります。

フォトリフレクタとは発光部と受光部を持つセンサーです。実際に近くでよく見ると、レンズのようなものが2個ずつついていますね。



図 1-0 エンコーダー基板のしくみ

2) フォトリフレクタのしくみ

フォトリフレクタは、発光部から発射された光が、反射して戻ってくるかどうかを受光部で判定する装置です。赤外線は基本的に、白いものにあたるとよく反射し、黒いものにあたると吸収されあまり反射しません。この差を利用することで、目の前にあるものが白いか黒いかを見分けることができます。

ちなみに、ロボプロのプログラムでは光が反射してくる、つまり白いものにかざすと **LOW**、光が反射しない、つまり黒いものにかざすと **HIGH** という値が返ってくるようになっています。if文をかくときの参考にしてください。

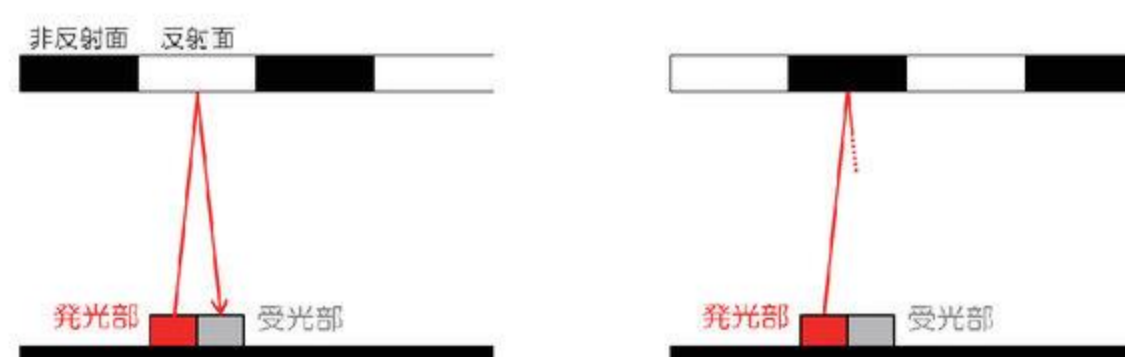


図 1-1 フォトリフレクタのしくみ



豆知識

「エンコーダー (encoder)」とは、情報を一定の規則に基づいてデータに置き換えて記録したり、別の形式のデータに変換したりする装置やソフトウェアのことなどを指します。画像や動画のデータを作成・変換するものや、データ圧縮や暗号化を行うものなどがこれに含まれます。

このような処理のことを「エンコード (encode:符号化)」といいます。逆に、エンコード前の情報やデータに戻すことを「デコード (decode:復号)」、そのような処理を行う装置やソフトウェアを「デコーダー (decoder)」といいます。

授業では、シールの白黒のシマをエンコーダーによりスイッチのON、OFF 情報に置き換えて、その情報をもとにモーターの制御を行うしくみを学びます。

エンコーダーを活用している装置、機器にはエレベーターや車両などがあります。気になる人はインターネットで「ロータリーエンコーダー」というキーワードを検索してみてください。

1.1. エンコーダーの活用

エンコーダーはエレベーターのような水平移動装置やモーターのような回転体の移動量を正しく計測するためのセンサーの役割をしています。白黒のシマをモーターのような回転体に組み込みエンコーダーで読み取ると、「回転方向」、「回転角度」、「回転速度」を知ることができます。

エレベーターのようにモーターの力で昇降する装置で回転体に白黒のシマの円板があれば、黒のカウントで回転数と回転方向の情報を得ることができますし、車のホイールにシマがあれば、回転速度、回転角度の情報を得ることができます。

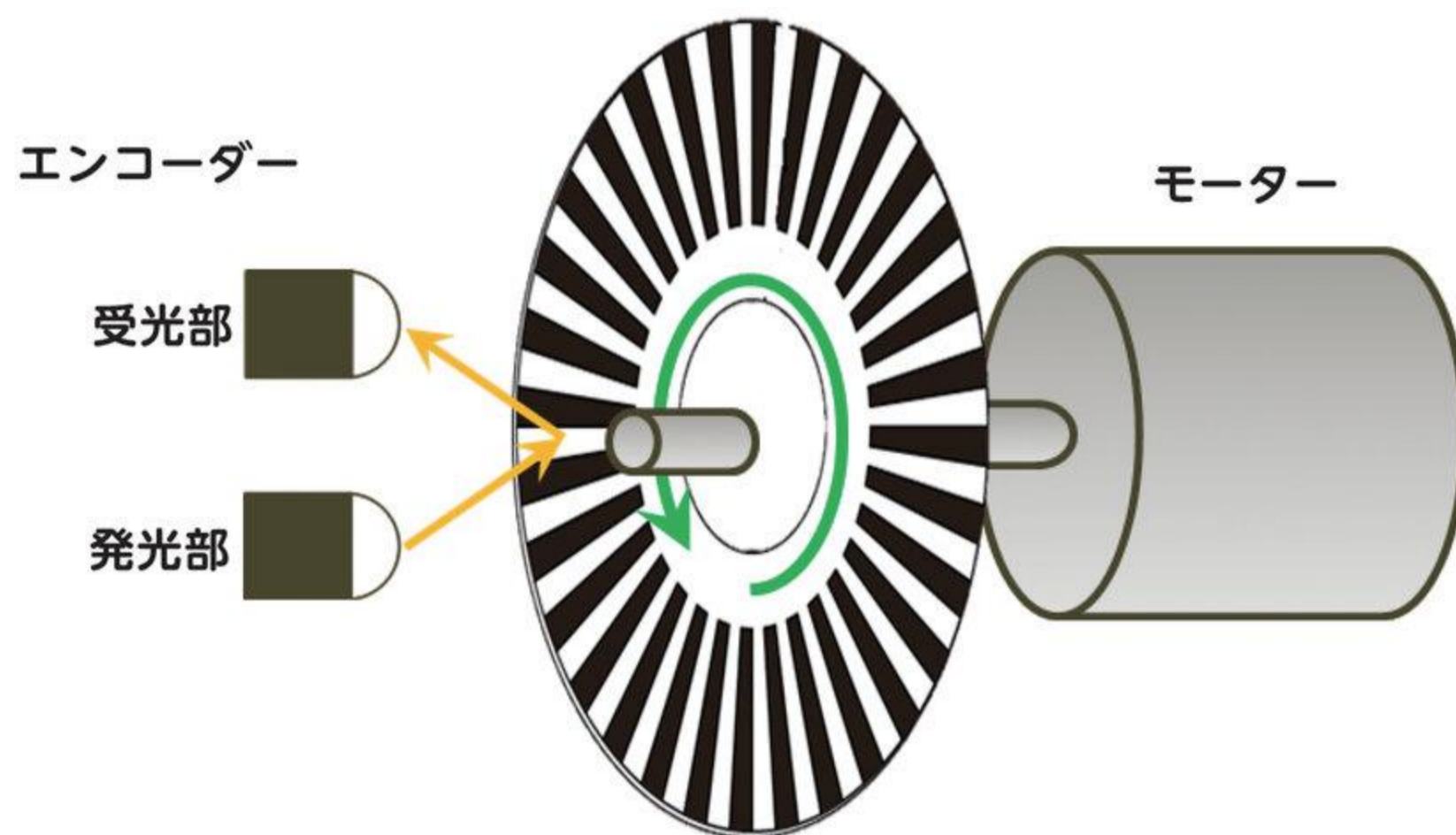


図 1-2 エンコーダーの働き

1.2. 姿勢検出シールドの組み込み

それでは、実際に動かしながら、エンコーダーの動きを確認してみましょう。

<組み立て手順①>

マイコンボードのユニットに姿勢検出シールドを加えて使用します。

図1-3のように、組み立てましょう。

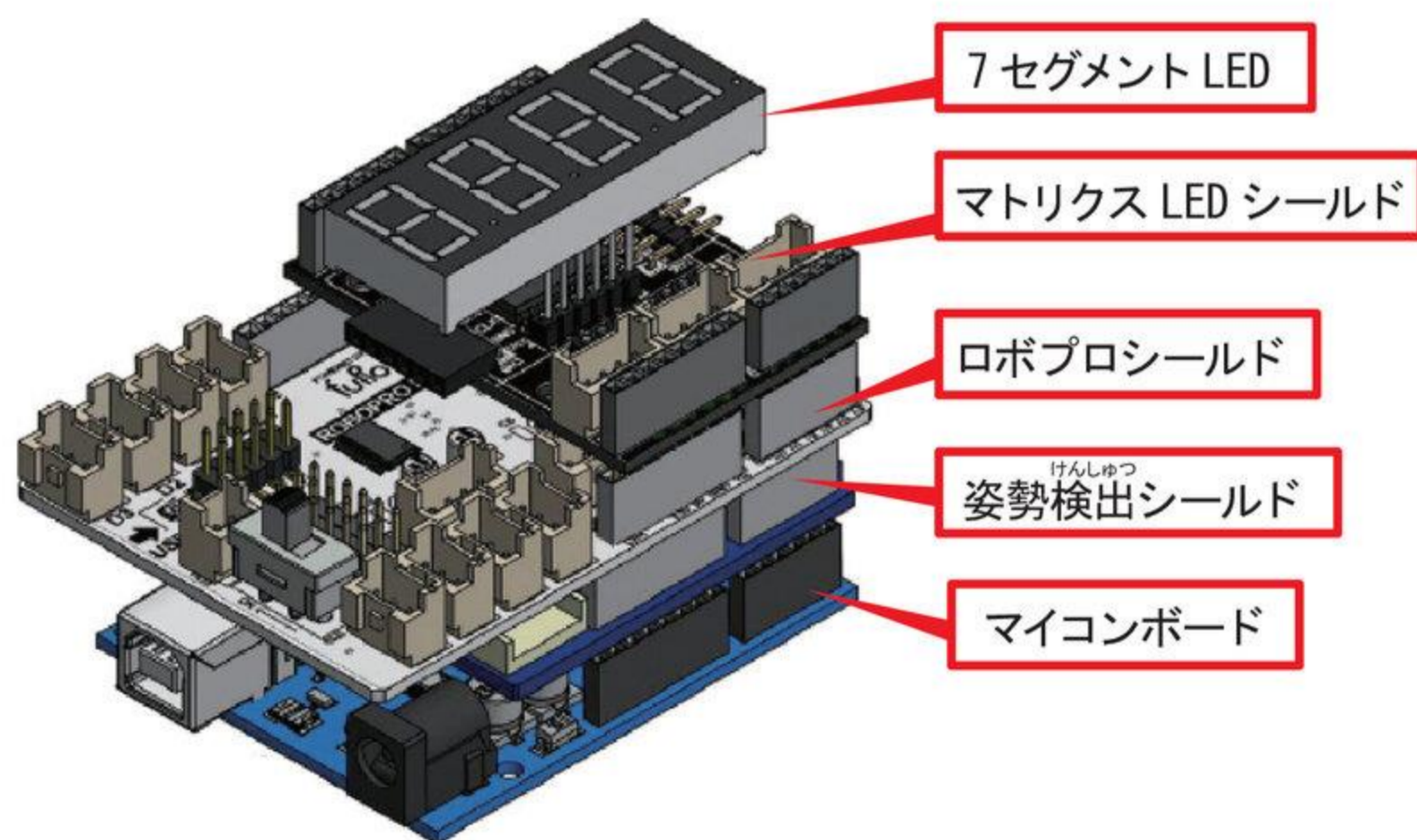


図1-3 姿勢検出シールドの接続

<組み立て手順②>

図1-4のようにマイコンユニットにエンコーダー基板を組み込みます。エンコーダー基板のコネクターと姿勢検出シールドの **ENC1** のコネクターをセンサーケーブルで接続しましょう。

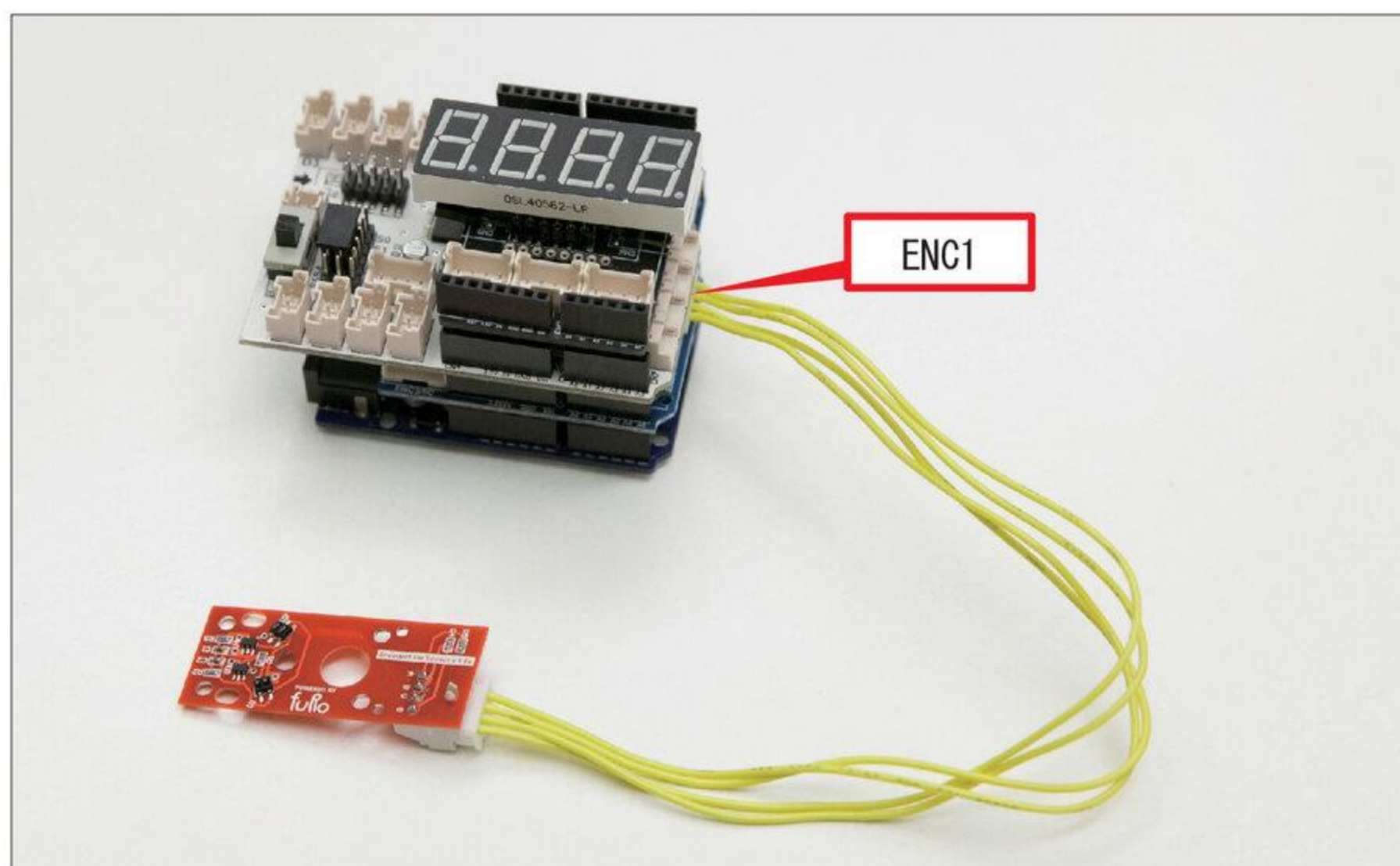


図1-4 エンコーダー基板とマイコンユニットの接続

1.3. エンコーダー基板の動作確認

つづいて、エンコーダー基板のフォトリフレクタの読み取りテストを行います。USB ケーブルでマイコンユニットとパソコンを接続して、以下のプログラムを実行しましょう。実行後、エンコーダー基板の **U1** と書いてある「フォトリフレクタ」に1mm くらいの距離で白い紙をかざしてみましょ

∞ プログラムの書き込み

RoboticsProfessorCourse2 > CombRobot5 > switchCount1

実行結果：白い紙をかざすと7セグメントLEDの数値がカウントアップする。白い紙が赤外線けんしゆつを反射し、その反射光を受光部が検出しているわけです。

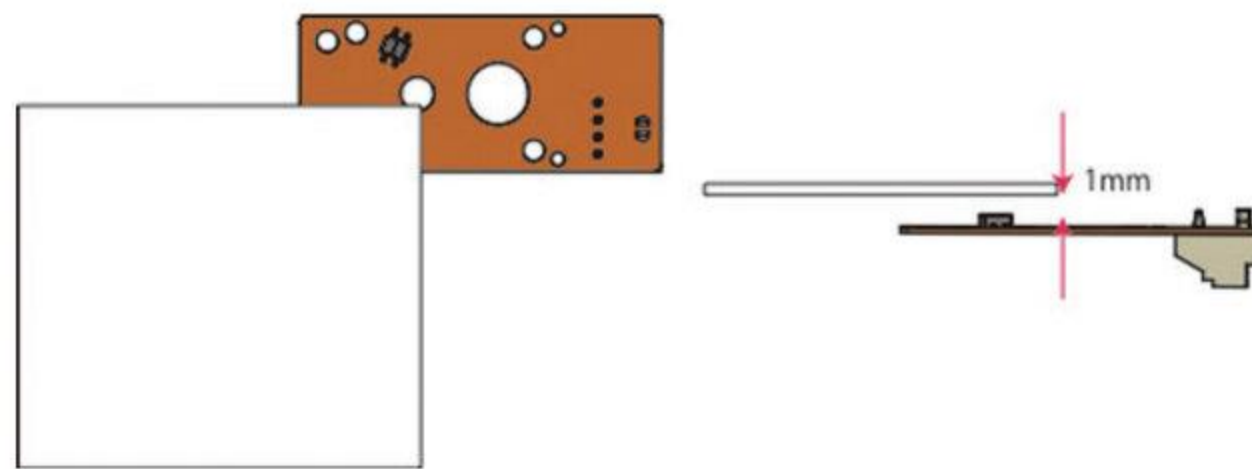


図 1-5 7セグメントLED カウントアップ

やってみよう！

今度は、**U1** のフォトリフレクタを、白い紙から下にある黒い部分に移動してみよう。黒のときに、7セグメントLEDの値はどのように変化するかを確認してみよう。

💡 ヒント

フォトリフレクタと黒い部分の間の距離きょりを、1mm くらいにしよう！



実験結果：✎ フォトリフレクタが黒を読み取ると、7セグメントLEDのカウントが停止する。

講

エンコーダー基板の入手時期によっては、黒でなく白に反応する場合があります。この場合は上の黒四角に基板をかざすとカウントが進み、白い部分にかざすとカウントが止まります。

これ以降のページでは、「白黒の縞模様を読み取る」という用途に基板を使うようになり、白黒検知がどちらでも動作は変わりません。

プログラムを見てみましょう。エンコーダーを使うための構文が混じっています。

□ プログラム「switchCount1」より抜粋 ぼっすい

```
pinMode(ENC0_A, INPUT);
pinMode(ENC0_B, INPUT);
pinMode(ENC1_A, INPUT);
pinMode(ENC1_B, INPUT);
pinMode(ENC2_A, INPUT);
pinMode(ENC2_B, INPUT);

(中略)

int count = 0;
void loop(){
  if(digitalRead(ENC1_A) == LOW){
    delay(100);
    lc.setDec(0, ++count);
  }
  delay(10);
}
```

`pinMode(ENC1_A, INPUT);` という宣言せんげんといい、`digitalRead()` という条件式じょうけんしきといい、タッチセンサーを使うときのプログラムに似ていると思いませんか。

タッチセンサーが「スイッチが押されている、押されていない」でオン・オフを切り替えていたように、エンコーダーは「赤外線が反射している、していない」でオン・オフを切り替える機器と言えます。そのため、プログラムの形や使う構文も似ているのです。

`digitalRead(ENC1_A)` の値は、赤外線が反射する、つまり白い面にかざしたときに `LOW` となります。これを利用して、「白い面にかざしたときだけ変数 `count` の値を1増やし、7セグメントLEDに表示する」というif文を書いています。

ところで、`ENC1_A` というのは「`ENC1` に接続したエンコーダーの `U1` のフォトリフレクタ」を指します。エンコーダー基板には `U1` と `U2` の2つのフォトリフレクタがついているので、`U2` の動作も確認しておきましょう。

∞ プログラムの書き込み

RoboticsProfessorCourse2 > CombRobot5 > switchCount2

さらに、用意していたもう1つのエンコーダー基板もこのタイミングで同じように動作確認をしておきましょう。



豆知識

赤外線とは

「赤外線」とは、文字通り赤よりもちょっと外側の光で、^{かしこうせん}可視光線から外れたものです。
^{かしこうせん}可視光線とは「ヒトの眼で見える光」のことで、そこから外れている赤外線はヒトの眼ではみることができません。しかし、その点を生かして身近なところではリモコンなどで利用されています。

なお、^{かしこうせん}可視光線から外れるものには他にも以下のように「^{しがいせん}紫外線」などがあります。



1.4. エンコーダー基板をモーターに組み込む

ここでは、実際にギアドモーターにエンコーダーを組み込んで、エンコーダーがどのように機能するかを確認していきましょう。

まずは、**図 1-6** のようにギアドモーターに、エンコーダー基板を組み込みます。左右のモーター分として2セットつくります。手順に沿ってつくりましょう。

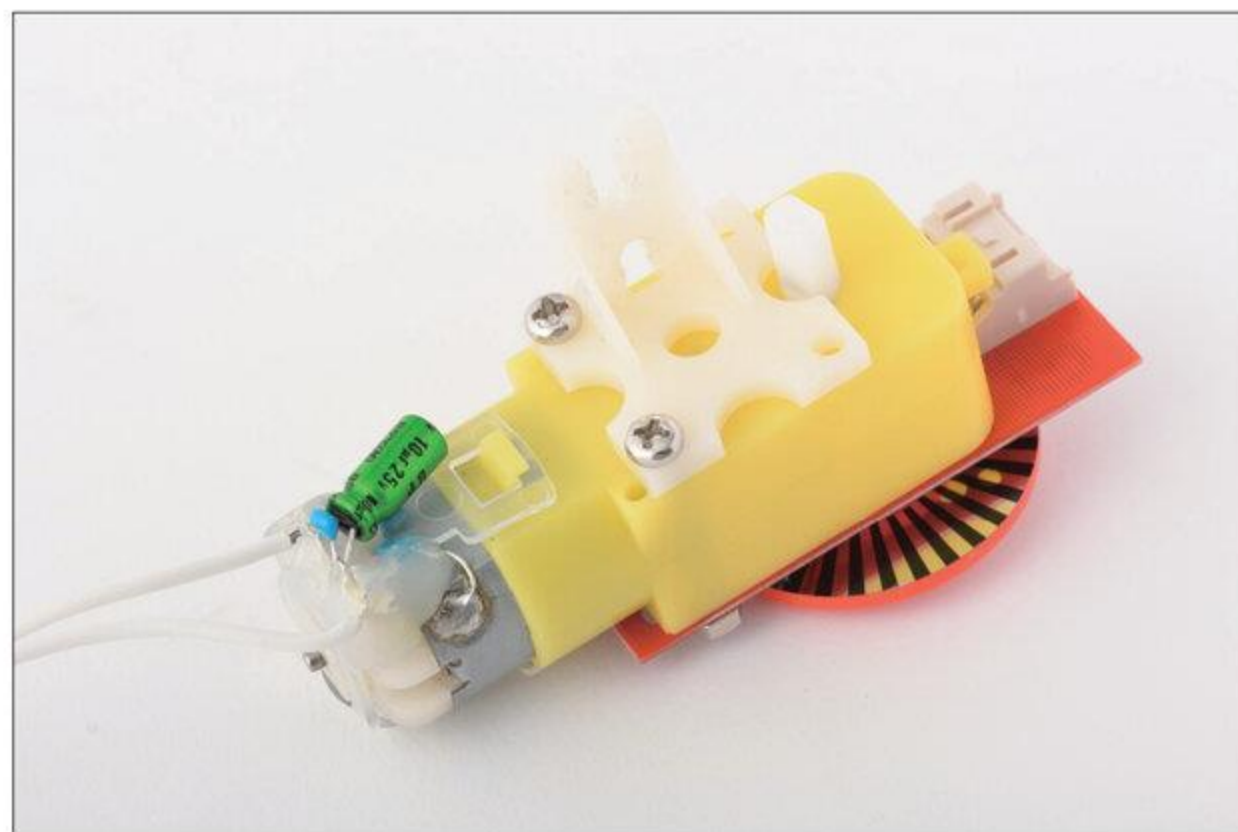


図 1-6 エンコーダー基板とモーターの組み込み完成図

<組み立て手順①>

エンコーダディスクにエンコーダ用シールを貼り合わせます。シールは、裏面の皮膜から剥がして丁寧にエンコーダディスクの凸型の面に貼り合わせましょう。シールが皺になったり傷ついたりしないように注意しましょう。

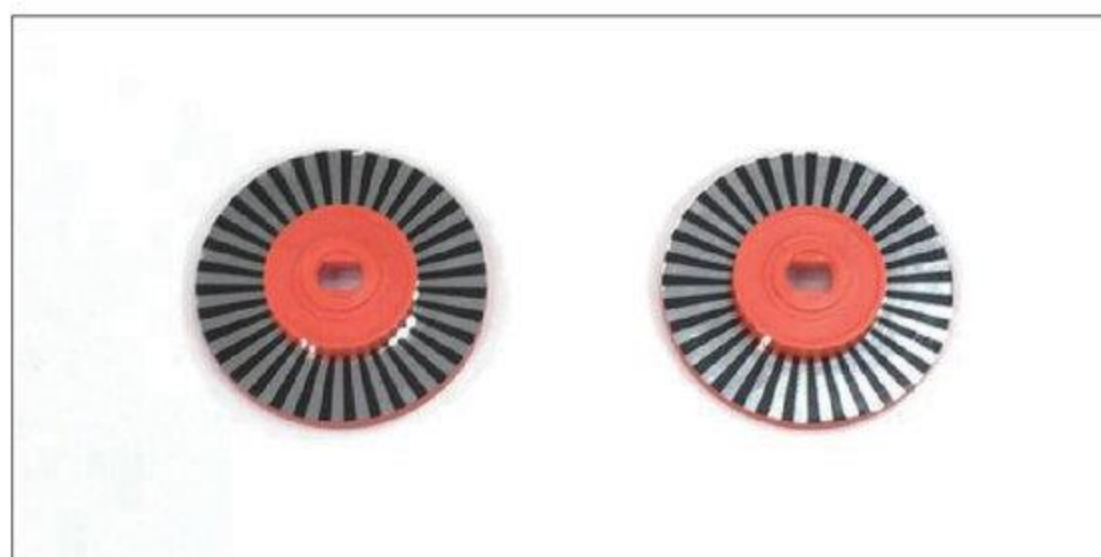


図 1-7 エンコーダ用シールの貼り合わせ

<組み立て手順②>

ギアドモーターにエンコーダ基板を組み付けます。ギアドモーターとモーターL字ステイにM3L25ネジ(×2)を通し、図1-8のようにエンコーダ基板をセットした後にM3ナット(×2)で固定しましょう。なお、図1-8は左モーターです。右モーターも左と対称になるように同じように組み付けましょう。

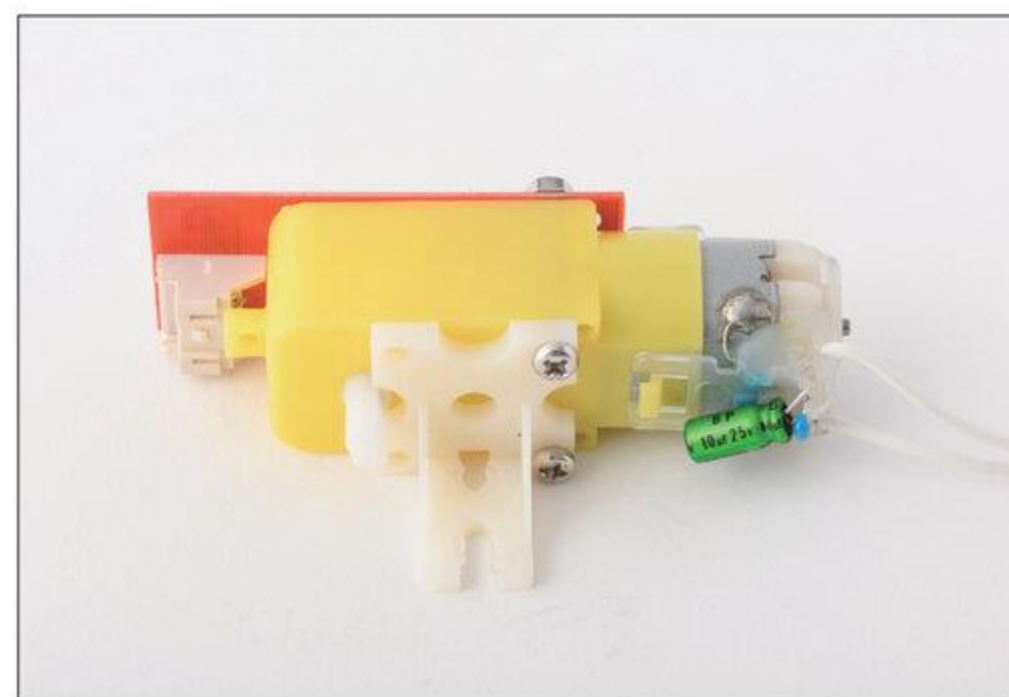


図 1-8 エンコーダ基板の組み付け (左モーター)

<組み立て手順③>

次に、モーター軸にエンコーダー用シールを貼ったエンコーダーディスクを取り付けます。エンコーダー基板のフォトリフレクタの方にエンコーダー用シールの白黒のシマが向くようにして隙間なく取り付けましょう。左モーターと同じく、右モーターにもセットしましょう。

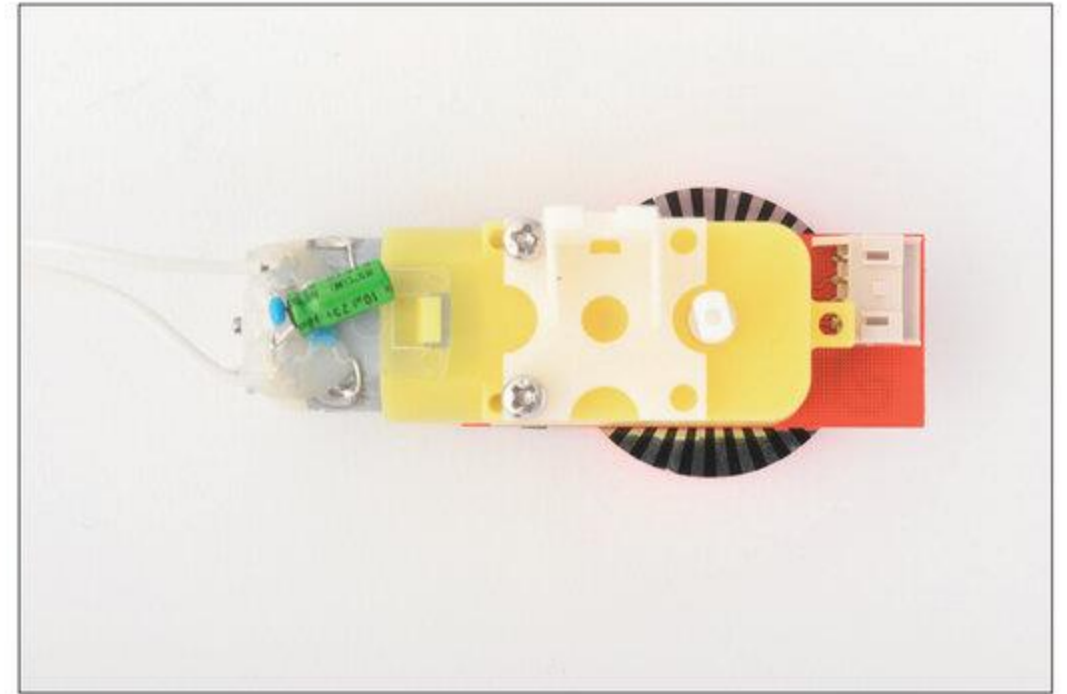
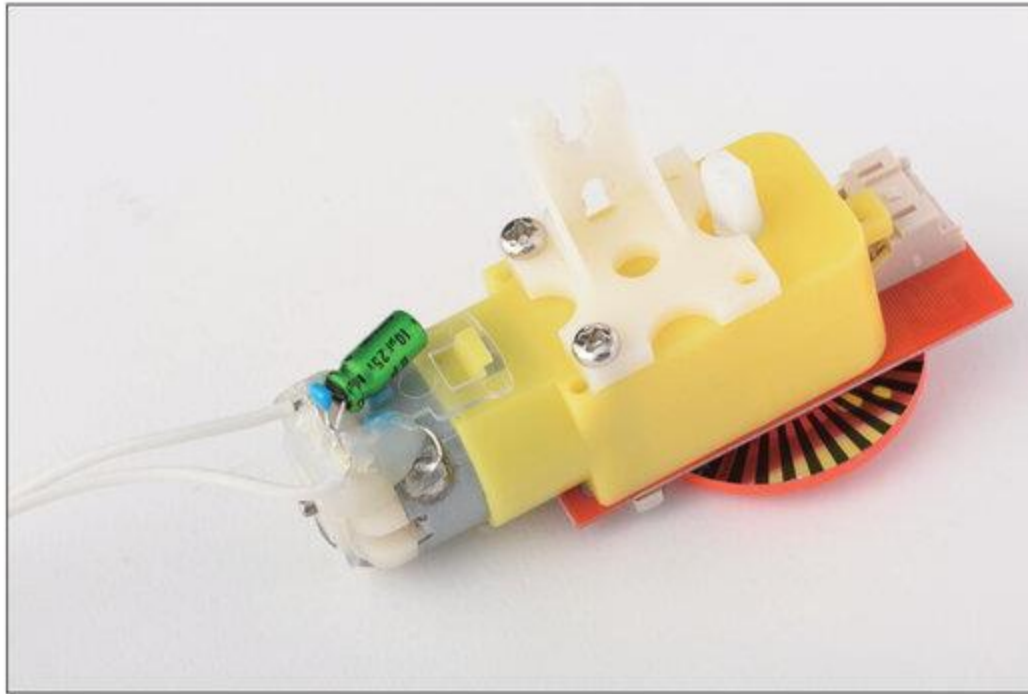


図 1-9 エンコーダーディスクの取り付け（左モーター）

<組み立て手順④>

最後に、エンコーダーディスクの上からオムニホイールを取り付けて、M2.3L25ネジでモーター軸に組み付けましょう。左モーターと同じく、右モーターにも取り付けましょう。

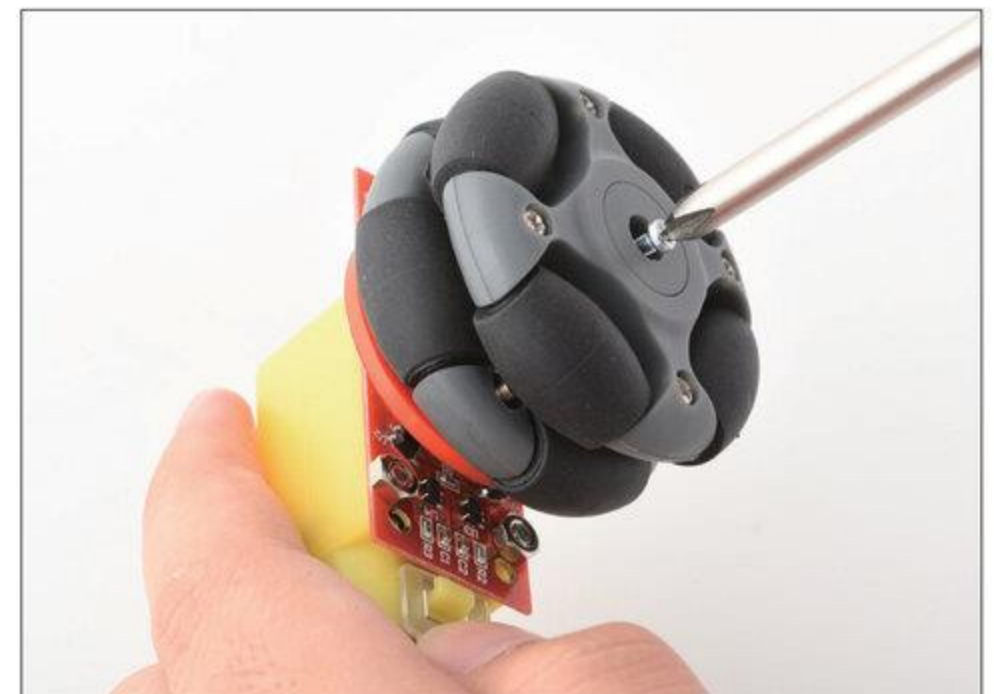
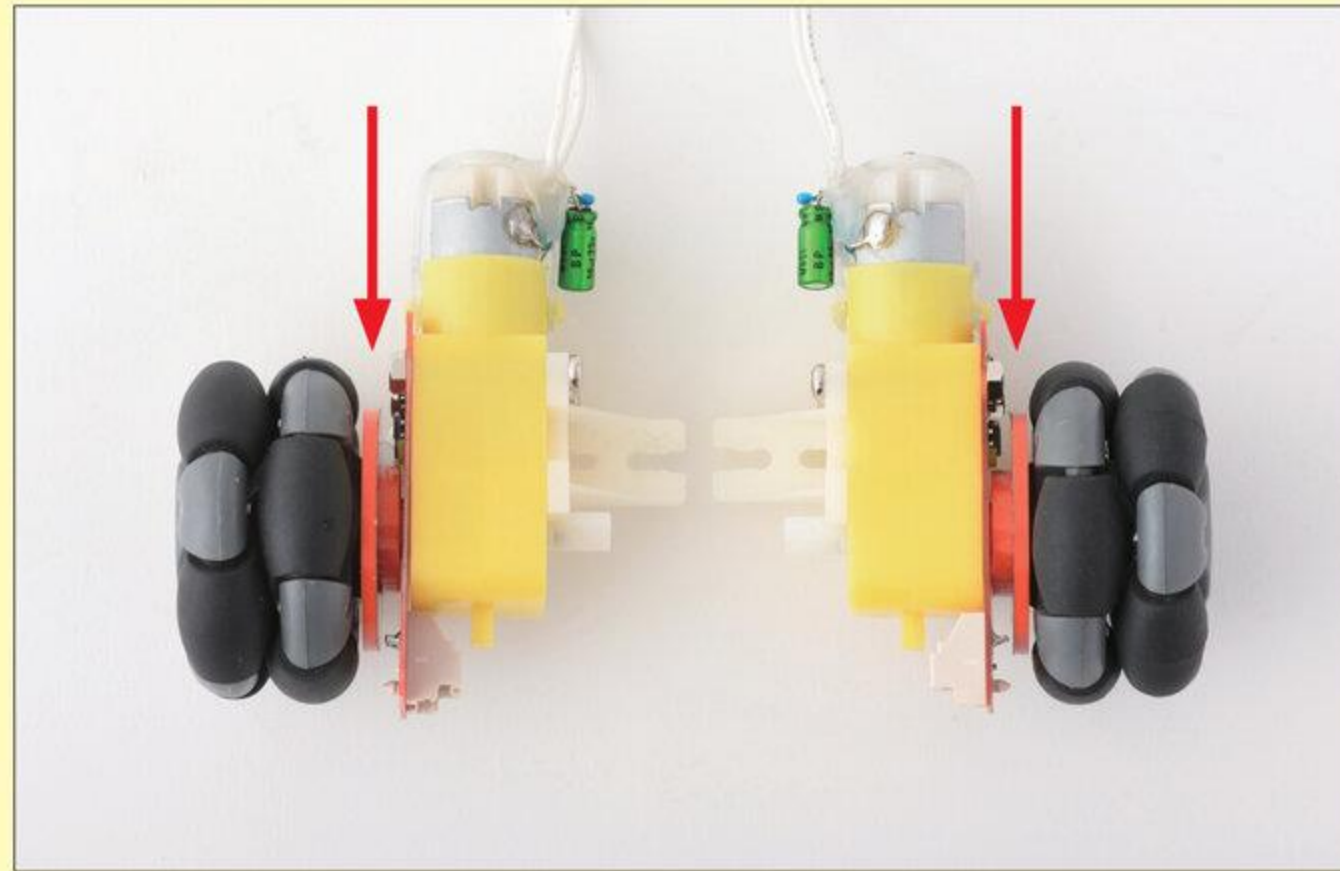


図 1-10 オムニホイールの組み付け（左モーター）

POINT

オムニホイールを固定するネジの締め具合は適度に調整しましょう。
あまりきつく締め過ぎるとモーター軸が固定されて回らなくなります。そして、緩すぎてもエンコーダーとエンコーダーディスクに隙間ができて「がたつき」が生じてしまいます。「がたつき」が大きいと、エンコーダーが正確に白黒のシマを読み取れません。



また、ネジの締め具合は左右のモーターが均等になるように調整します。左右モーターの組み立てが終わったら、手で回り具合を確認してみましょう。

1.5. エンコーダー基板の接続（配線）と動作確認

1) エンコーダー基板の接続

エンコーダー基板をマイコンユニットに接続していきます。エンコーダー基板と姿勢検出シールドをセンサーケーブルで接続します。左モーター側のエンコーダー基板は姿勢検出シールドの **ENC1** に、右モーター側のものは **ENC2** にそれぞれ接続しましょう。

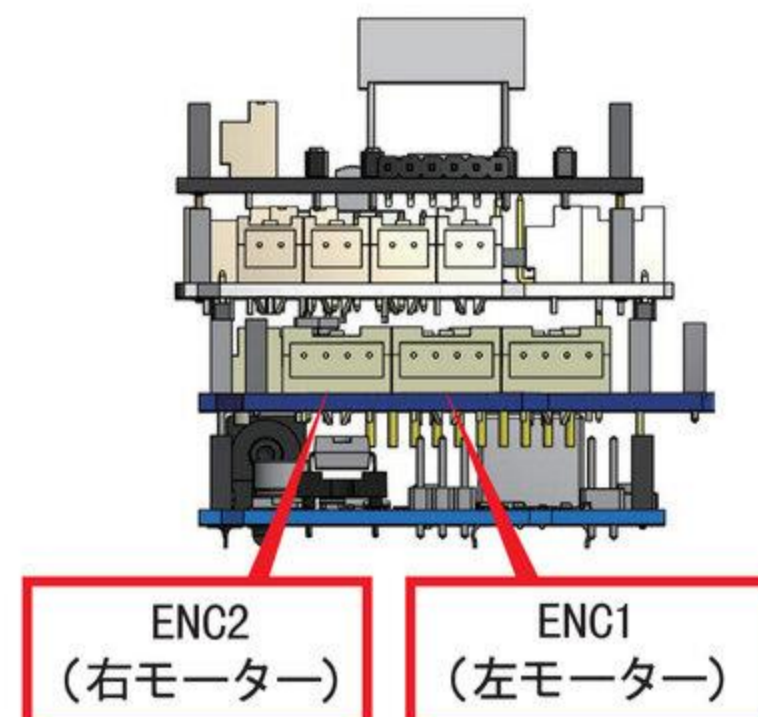


図 1-11 エンコーダー基板と姿勢検出シールドの接続

2) 動作確認

動作確認をかねてエンコーダーの機能を再確認しましょう。

白黒を読み取る原理を応用して、エンコーダー用シールの白黒のシマを読み取ります。先ほどのプログラム「switchCount1」を実行し、**図 1-12**のように、`ENC1` に接続されているホイールを手で回してみてください。

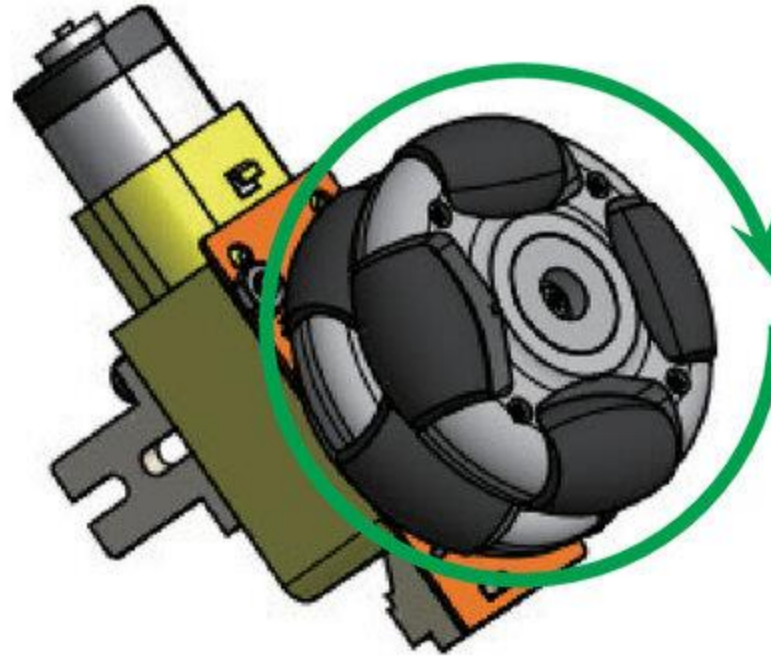


図 1-12 オムニホイールの回転を読みとる

実行結果：ホイールを回転させると、7 セグメント LED の表示がカウントアップする。

3) プログラムの改良

「switchCount1」では、ホイールを回転させることでエンコーダーが白黒のシマを読みとり、7セグメント LED の表示をカウントアップしました。しかし、ホイールを速く回したときとゆっくり回したときとで、回した数が同じでもカウントアップのペースがちがうことに気付いたでしょうか。

そもそもエンコーダーは読みとったシマの数で回転数をはかるものなので、速さに関係なくシマと同じ数だけカウントアップしてくれないと困りますよね。

そこでプログラムを工夫し、「反射面 1 か所につき 1 ずつカウントアップする」という動作にしていきましょう。これならば、ホイール 1 回転につき常にカウントが 35 ずつ増加するようになるはずです。

大まかには、以下のような処理にすることで実現できます。



POINT

- ・新たに変数を 1 つ用いる (仮に `old_enc` とする)。
- ・変数 `old_enc` はタイミングによって 0 または 1 のどちらかの値となる。
- ・反射面を検知したとき、`old_enc` が 1 ならばカウントアップする。反射面を検知していても `old_enc` が 0 のときはカウントアップしない。

このような処理になるよう、プログラムを書きかえてみましょう。

ステップアップ

プログラム「switchCount1」を書きかえ、「反射面1か所につき1ずつカウントアップする」という動作にしてみよう！

💡 ヒント

`old_enc = 0;` や `old_enc = 1;` と書くことで、変数 `old_enc` の値を強制的に0や1に変更できるよ。どのような状況で値を変更すればよいか、じっくり考えてみよう！

講

解答例は以下のプログラムです。

RoboticsProfessorCourse2 > CombRobot5 > switchCount3

これで、しっかり「何周回転したか」を検知できるエンコーダーになりました。と言いたいところですが、このプログラムではまだまだエンコーダーの真の実力を出し切れていません。

エンコーダーについての理解をもう少し深め、より高機能なロボットにしていきたいと思います。

1.6. エンコーダーの原理

先ほど体験した通り、エンコーダーは、通過した白黒のシマの数を計測することができます。

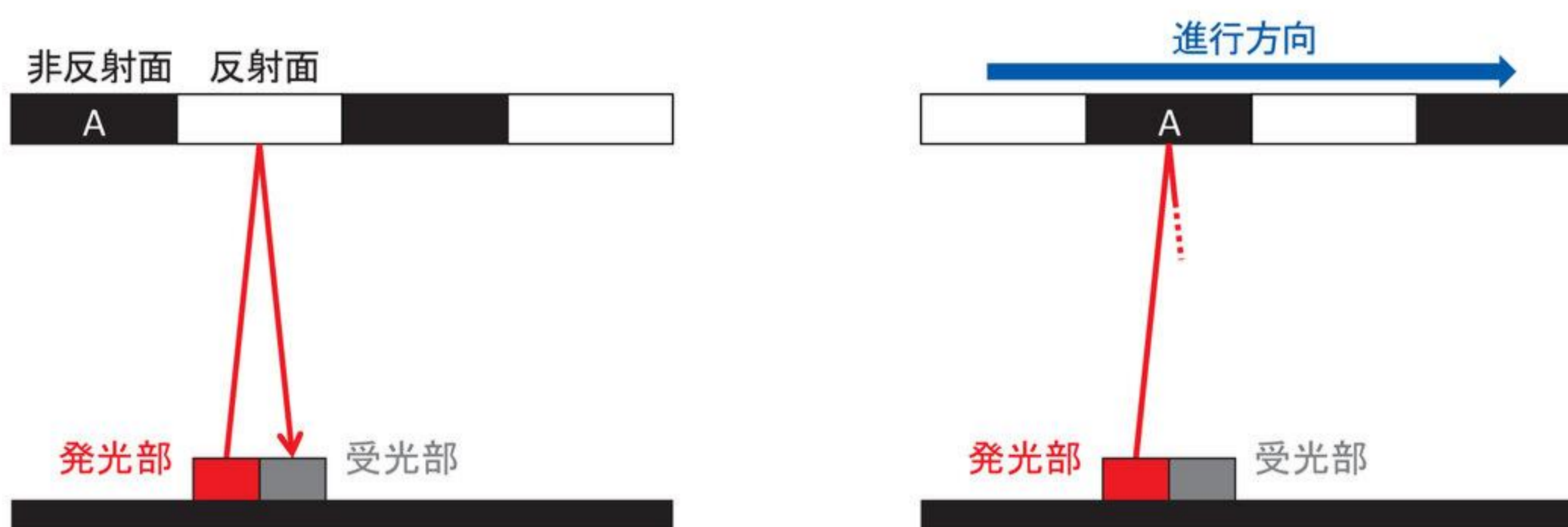


図1-13 エンコーダーのしくみ

また、エンコーダー基板には `U1` と `U2`、2つのフォトリフレクタが取り付けられています。

そのため、実際には2つのフォトリフレクタがそれぞれ別々に赤外線を検知していることになります。

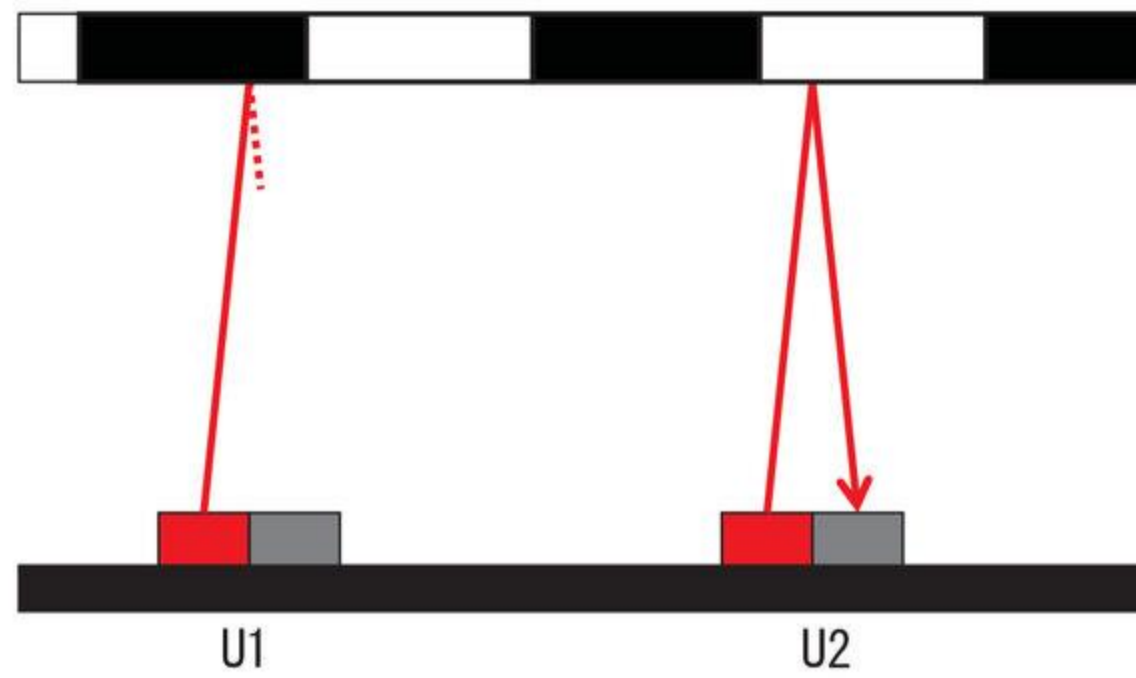


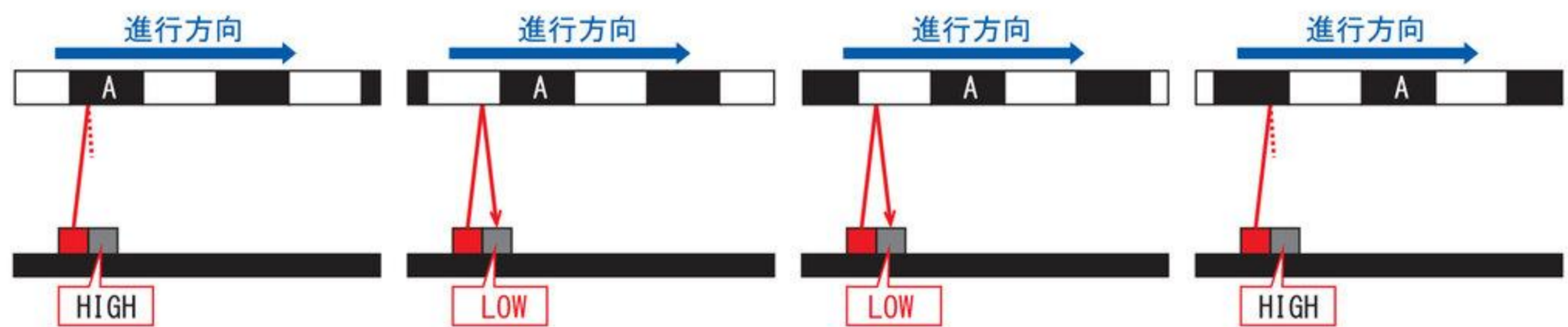
図 1-14 フォトリフレクタを2つ取り付ける

フォトリフレクタが2つついたエンコーダーは、フォトリフレクタが1つしかないエンコーダーと比べ、大きな利点があります。それはどのようなことでしょうか。

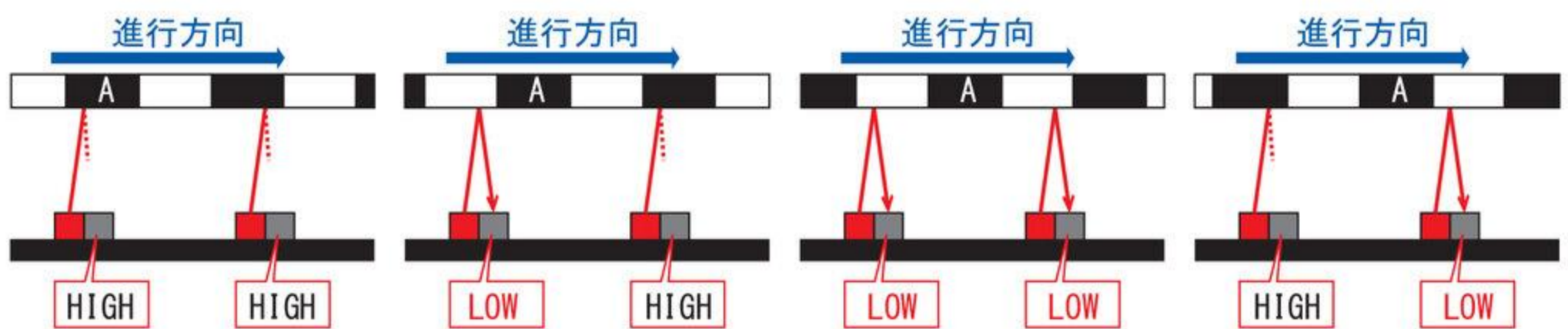
ステップアップ

下の図を参考にして、フォトリフレクタが2つついていることでどのようなメリットがあるか考え、文章にしてみよう！

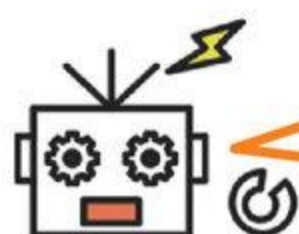
・フォトリフレクタ1つの場合



・フォトリフレクタ2つの場合



✎ フォトリフレクタ1つでは「HIGH」と「LOW」の2通りしか検知できないが、フォトリフレクタ2つなら全部で4通りの結果に分けて検知できる。そのためより正確な位置を把握でき、さらに回転方向も分かるようになる。



どうやって読み取っているのかな？

U1 や U2 のフォトリフレクタは、`digitalRead();` を使うと HIGH と LOW の2種類のみで結果を読みとります。よって、フォトリフレクタの HIGH ・ LOW の状態をグラフで表すと以下ようになります。



図 1-15 HIGH ・ LOW の状態をグラフで表す

HIGH と LOW が瞬時に切りかわるため、グラフも縦線と横線が組み合わさった形になりますね。このようなグラフを「矩形波」とよびます。



豆知識

「矩形」とはすべての角が90度の四角形、つまり長方形のことです。

フォトリフレクタを2つ使ったときの矩形波を見ると分かりやすいですが、HIGH と LOW が切り替わるタイミングが少しずれていますね。そのため、2つのフォトリフレクタの HIGH ・ LOW の組み合わせが4通りできます。

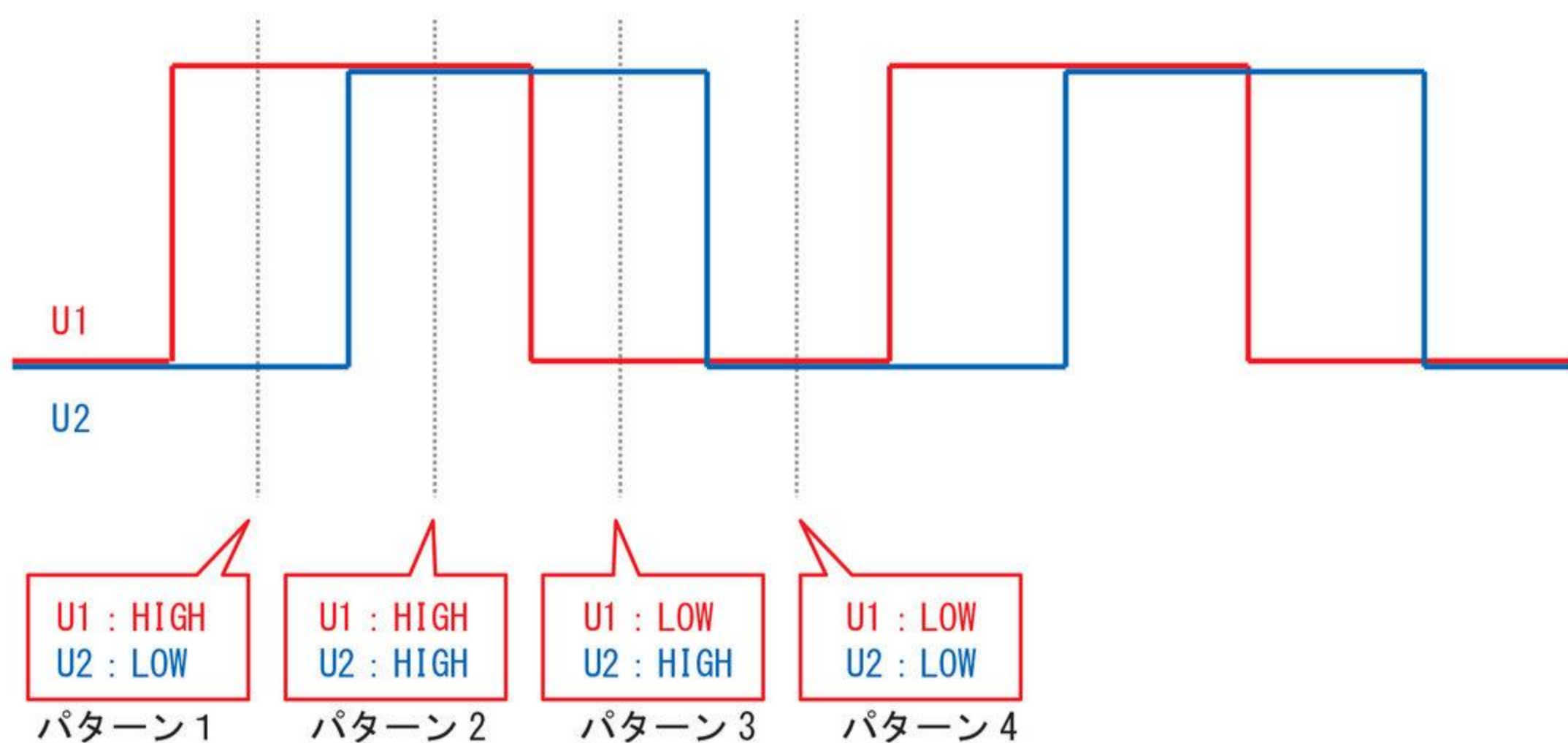


図 1-16 フォトリフレクタを2つ使った場合

また、パターン1～4が1→2→3→4の順と4→3→2→1の順のどちらで検知されるかで、シマの移動方向も分かりますね。つまり、フォトリフレクタが2つあることで現在位置の検知精度が上がるだけでなく、モーターの回転方向まで判別できるというわけです。

フォトリフレクタ 2 つを活用するよう改良したのが以下のプログラムです。

🌀 プログラムの書き込み

RoboticsProfessorCourse2 > CombRobot5 > encoderTest

実行結果：ホイールを回転させると 7 セグメント LED の値が 1 ずつ増減する。1 周で 140 だけ値が変化する。

黒と白のシマが 1 周で 35 本ずつあり、黒白 1 本ずつのペアにつき 4 通りの結果ができるため、ぜんぶで 140 パターンに分けて検知が可能です。また回転方向も検知できるので、値が増えたり減ったりするようになりました。

```
enc = encValue[1];           // ENC1を表示する
```

`encValue[1]` という変数に、`ENC1` のエンコーダー基板の結果が入っています。もし `ENC2` のエンコーダー基板を使用するなら、`encValue[2]` と書く必要があります。

1.7. エンコーダーを使ってみよう

さて、今度は、エンコーダーを有効活用してロボットを上手に動かす方法を考えてみましょう。ここまでの学習で、エンコーダーの機能でホイールの「回転方向」を検出^{けんしゅつ}することができるようになりました。さらに、エンコーダーの特性を利用すると、一定速度でホイールを回すことができるようになります。今までの授業では、モーターの調整値をいじって速度を調整していました。でもそのやり方だと、モーターによって少し個体差（能力差）があるので、同じ電圧を与えても回転数が一定ではなかったのです。しかし、今回はきちんと「制御」するので性能を均一にすることができます。要するに、どのモーターを使っても、調整値を入れずにまっすぐに走らせることができるわけです。

やってみよう！

ホイールが一回転するとロボットはどのくらいの距離^{きょり}を進むかな？
ホイールの直径は 48mm だと考えよう。

解答： $48\text{mm (直径)} \times 3.14 \text{ (円周率)} \div 10 = 151\text{mm (約 15cm進む)}$

💡 ヒント

「ホイールが一回転して進む距離^{きょり}」 = 「ホイールの円周の長さ」と考えてみよう。

それでは、実際にモーターを動かしてみましょ。以下のポイントのように各部を配線して、プログラム「encoderMotorTest」を実行してください。なお、タッチセンサーも動作スタートの合図として使用するのでここで接続しましょう。



POINT

各部の配線

- ・右モーター：ロボプロシールドの MC1
- ・右エンコーダー：姿勢検出シールドの ENC1
- ・左モーター：ロボプロシールドの MC2
- ・左エンコーダー：姿勢検出シールドの ENC2
- ・タッチセンサー：ロボプロシールドの D2



プログラムの書き込み

RoboticsProfessorCourse2 > CombRobot5 > encoderMotorTest

実行結果：タッチセンサーを押すとモーターが回転する。

同じくらいの速度で左右のホイールが動いているか確認してみましょう。

講

もともとのモーターの性能や、エンコーダーの円形プレートのシマを精度良く検出しているかにより、多少の差は生じますが、シマを読んで動作を制御していることを観察させてください。

さて、もう少し頭の体操をしましょう。その前に RPM (Rotation Per Minute) という用語を使うので理解しましょう。RPM は1分あたりの回転数を意味します。1RPM であれば1分に1回転します。以上をふまえて以下の内容を考えてみましょう。

ステップアップ

ホイールが 50RPM で 4 秒間動いたとき、ロボットはどれくらいの距離進むかな？
ホイールの直径は 48mm だと考えよう。

解答： $48\text{mm (直径)} \times 3.14 (\text{円周率}) \times 50 (\text{RPM}) \times (4 \div 60) \div 1000 = 502\text{mm}$

(約 50cm 進む)

計算結果が正しいかどうかを確認するのに、プログラム「encoderMotorTest」を活用してみましょう。以下のように書きかえます。

□ プログラム「encoderMotorTest」より^{ばっすい}抜粋

```
rotate_enc(-SPEED_L, 1); // 引数1、速度、引数2、チャンネル  
rotate_enc(SPEED_L, 2);  
delay(3000);
```

```
rotate_enc(-SPEED_M, 1); // 引数1、速度、引数2、チャンネル  
rotate_enc(SPEED_M, 2);  
delay(4000);
```

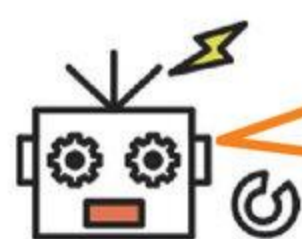
これで問題通り、50RPMで4秒だけ進むロボットになります。実際の移動距離^{きょり}を確認してみましょう。

新たな命令も登場していますが、詳しくは次回解説します。ひとまずプログラムを読み込^こんでみたり数字を色々^{へんこう}と変更したりして、どのような命令か推理してみるのもよいでしょう。

2. まとめ（目安5分）

さて、ここまでで、エンコーダロボットの準備はだいたい終わりました。

次回は、ロボットにいろいろな軌跡^{きせき}をたどらせるように動かしてみましよう。だんだん数学の知識も必要になってきますよ。また、エンコーダ基板を別の使い方をしてライトレーサーもつくってみましよう。以前、カラーセンサーでライトレーサーをつくっていましたが、あらためてやや高度なライトレーサーを仕上げます。



次回は、エンコーダを付けた、センサーロボットをつくりあげるよ！

《次回必要なもの》

次回は、今回使用したものに加え以下のパーツを使用します。

ラジオペンチ 1	ドライバー 1	USB ケーブル 1	電池ボックス 1
			
センサーL字ステイ 3	オムニホイール 1	M3L30 ネジ 1	白円形ボード 1
			
M3 ナット 19	M3L8 ネジ 22	8mm 角スペーサー 4	30mm 角スペーサー 3
			
ユニバーサルボード 1			
			

図 2-0 次回必要なもの

講

- 以下の理解度を確認します。
 - ・エンコーダーの機能を知る
 - ・エンコーダーを使ってみる
 - ・エンコーダーを使って制御する
- 次回のテーマは「エンコーダーを使ったロボット」であることを告知します。