

確率・統計ロボティクス学習キット “MZIP-01” 組立説明書

ver 1.3 2020/09/08

目次

1. 概要.....	1
2. 使用する工具.....	2
3. 基板を作る.....	3
4. 車体を作る.....	5
5. プログラムを書き込む.....	8
5-1. バイナリ・ファイルをそのまま使う場合.....	8
5-2. 自分でコンパイルしてバイナリを生成する場合.....	8
6. 動作確認.....	11
7. 全回路図.....	12

1. 概要

本製品は、2つの車輪だけで直立した姿勢を保つ「倒立振り子」と呼ばれるロボットのキットです。この組立説明書にしたがって車体を作り、パソコンを使ってマイコンに制御用のプログラムを書き込むことで、手軽に実験を行うことができます。なお、プログラムは本製品の通販ページから無料でダウンロードできます。

このロボットのプログラムには、確率・統計の考え方を利用した「カルマン・フィルタ」というアルゴリズムが使われています。カルマン・フィルタを使うと、センサの値からノイズを取り除いて最も確からしい値を得ることができます。

また、モータの回転を制御するためのフィードバック・ゲインは、現代制御理論における「最適制御」という手法を使って算出しています。各センサの値とフィードバック・ゲインにもとづいてモータに印加する電圧を決定し、ロボットの姿勢制御を行っています。

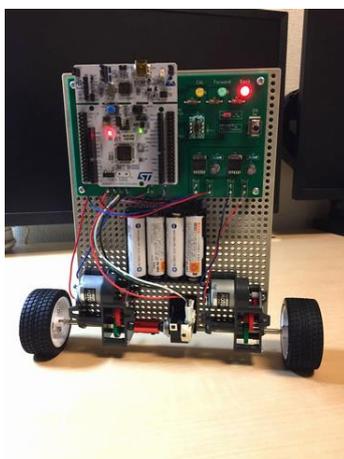


図 1： 前から見た様子。



図 2： 横から見た様子。

2. 使用する工具

- はんだごて
- はんだ
- フラックス (例えば図 3 のようなもの.)
- ピンセット (例えば図 4 のようなもの.)
- プラスドライバー
- ペンチ
- ニッパ
- 1.5mm あるいは 2mm の六角レンチ (シャフト・カプラのイモネジに合わせる. 例えば図 5 のようなもの.)
- テーパー・リーマ (小さい穴を広げる工具なら何でも可. 例えば図 6 のようなもの.)
- スズメッキ線
- 単 3 形 Ni-MH 充電電池 (ニッケル水素充電電池) 4 本
- USB mini B – type A ケーブル



図 3 : フラックスの例.
HAKKO “FS-200”



図 4 : ピンセットの例.
HOZAN “P-891”



図 5 : 六角レンチの例.



図 6 : テーパー・リーマの例.

3. 基板を作る

【モータ・ドライバ IC の取り付け】

基板上の U4 および U5 の位置に、モータ・ドライバ IC “BD6212HFP” をはんだ付けします。表面実装部品なので、フラックスがあると作業が楽です。

まず、パッド（電極部分）にフラックスを塗り、図 7 のように部品の位置を合わせて置きます。次に、図 8 のように 1 つのピンだけをはんだ付けします。この状態で位置がずれていたら、はんだを溶かして再度位置合わせをします。位置が決まったら、図 9 のようにすべてのピンとフィンの部分をはんだ付けします。

はんだ付けする場合、あるいは間違っただけのはんだを取り除く場合は、適宜フラックスを塗りながら作業を行うようにすると簡単です。



図 7：パッドに合わせて部品を置く。



図 8：1 つのピンだけをはんだ付けする。



図 9：すべてのピンをはんだ付けする。

【センサ・モジュールの組み立て】

センサ・モジュールを組み立てます。基板を裏返して“JP4”，“JP5”，“JP7”，“JP8”の 4 カ所をはんだでショートします（図 10）。続いて、図 11 のように IC ソケットを利用してピン・ヘッドを取り付けます。

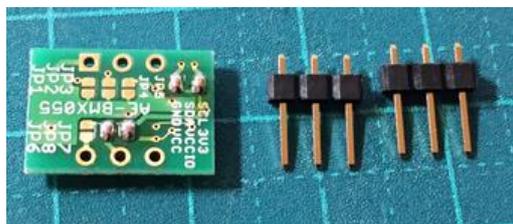


図 10：センサ・モジュールの JP4, JP5, JP7, JP8 をはんだでショートする。



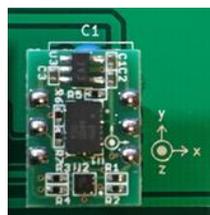
図 11：IC ソケットを利用して、ピン・ヘッドをはんだ付けする。

【各 부품の取り付け】

抵抗、キャパシタ、ピン・ソケット、LED、スイッチという具合に、背が低い順に部品を取り付けていきます。電解コンデンサは向かって左側がプラス、右側がマイナスです。

センサ・モジュールは、図 12 のように x , y , z 軸の向きが基板側のシルクと一致するように取り付けます。

図 12： センサ・モジュールの
取り付け方向。



【端子台をつくる】

図 13 のようにスズメッキ線をアーチ状に取り付けて、ロータリ・エンコーダ、電源、モータの端子台を作ります。切り取った部品のリードを使っても構いません。

ケーブルを直接基板にはんだ付けしても構いませんが、端子台を用意しておいたほうがデバッグの際に便利です。

図 13： スズメッキ線で端子台を作る。



【NUCLEO ボードとセンサ・モジュールの取り付け】

すべての部品をはんだ付けしたら、“NUCLEO-F401RE” マイコン・ボードを取り付けます。マイコン・ボード用のピン・ソケットは、一番上のピンが余ります (NC)。

また、ジャンパ・ピン (赤) は J1 の “5V Ni-MH” と書かれている箇所に取り付けておいてください。



図 14： すべての部品を基板に取り付けた様子。
ジャンパ・ピン (赤) は “J1” に取り付けておく。

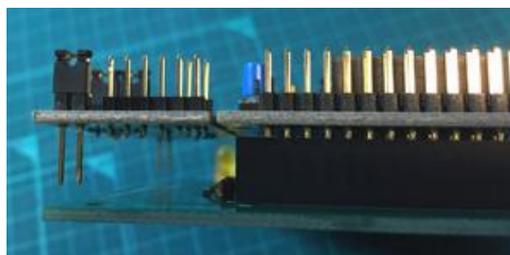


図 15： ピン・ソケットの
一番上のピンは余る (NC)。

4. 車体を作る

【ハイパワーギヤーボックス HE】

「ハイパワーギヤーボックス HE」を2つ組み立てます。ギア比は“64.8:1”にします。シャフトは上側の穴を通すようにします。

図 16： ハイパワーギヤーボックス HE
を2個組み立てる。



左側のモータのケーブルは長さが足りなくなるので、別途 20 cm の長いケーブルに付け替えてください。このとき、ケーブルの色はもともと付いていたケーブルと一致させるようにします。

図 17 のように、モータの端子間にセラミック・コンデンサを取り付けます。

図 17： モータの端子に
セラミック・コンデンサを取り付ける。



【タイヤ】

「スポーツタイヤセット」を組み立てます。ホイールハブは、ハイパワーギヤーボックス HE と組み合わせるために、溝がある方を使います。

ホイールハブは、ホイールの浅いほうに取り付けることをおすすめします。完成したら、ギアボックスとタイヤを接続しておきます。

図 18： スポーツタイヤセットを
組み立てる。



【ギアボックスの取り付け】

ギアボックスをシャーシ（ユニバーサルプレート L）に取り付けます。左右とも一番外側の位置で、下から 7 番目のネジ穴に固定します。ネジはギアボックスに付属している物を使用してください。

【ロータリ・エンコーダの取り付け】

ロータリ・エンコーダとギアボックスのシャフトを、シャフト・カプラ（シャフト・ジョイント）で接続します。

ロータリ・エンコーダの位置を見積もり、図 19 のようにスポンジゴムを貼り付けておきます。スポンジゴムの形状は、おさまりが良いように適宜調節してください。

先にロータリ・エンコーダにシャフト・カプラをはめてから、ギアボックス側のシャフトを挿入するとスムーズです。イモネジは、強く締めすぎないように注意してください。

シャフト・カプラは、製品のロットによっては図 20 の物と形状が異なる場合があります。いずれの物でも問題なく使用できます。シャフト・カプラのイモネジ用の六角レンチのサイズは、実物に合わせて選択してください（1.5mm あるいは 2mm）。

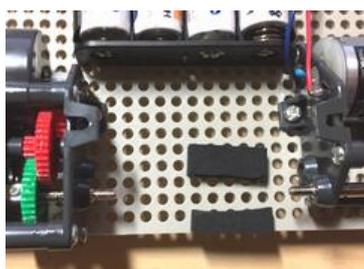


図 19： スポンジゴムを貼り付ける。

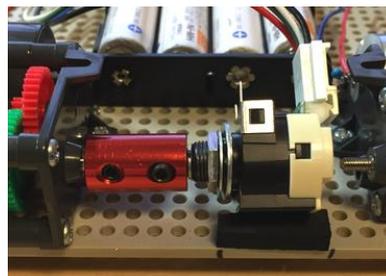


図 20： ロータリ・エンコーダとギアボックスをシャフト・カプラで結合する。

【電池ボックスの取り付け】

電池ボックスのネジ穴は小さいので、テーパ・リーマなどで少しだけ穴を広げておきます。また、シャーシ側の穴もテーパ・リーマで少し広げておくと作業が楽です。電池ボックスは、シャーシの下から 16 番目の穴にネジで固定します。適宜、ワッシャを使ってください。

【基板の取り付け】

基板に長さ 15 mm のスペーサを取り付けます。スペーサ用のネジは長さ 7 mm のものを使ってください（10mm のネジも入っているので注意。）基板は、シャーシの上から 2 番目の列の穴に固定します。

【配線する】

ロータリ・エンコーダ、電源、モータを基板に接続します。ロータリ・エンコーダはソケットの順番のとおり基板に接続してください。モータは、「青いケーブル」を“M1_1”および“M2_1”側に、「赤いケーブル」を“M1_2”および“M2_2”側に接続してください。もしモータのケーブルの極性がわからなくなった場合は、プログラムを書き込んだ後に実際に動作させながら極性を確認してください。

【車体の完成図】

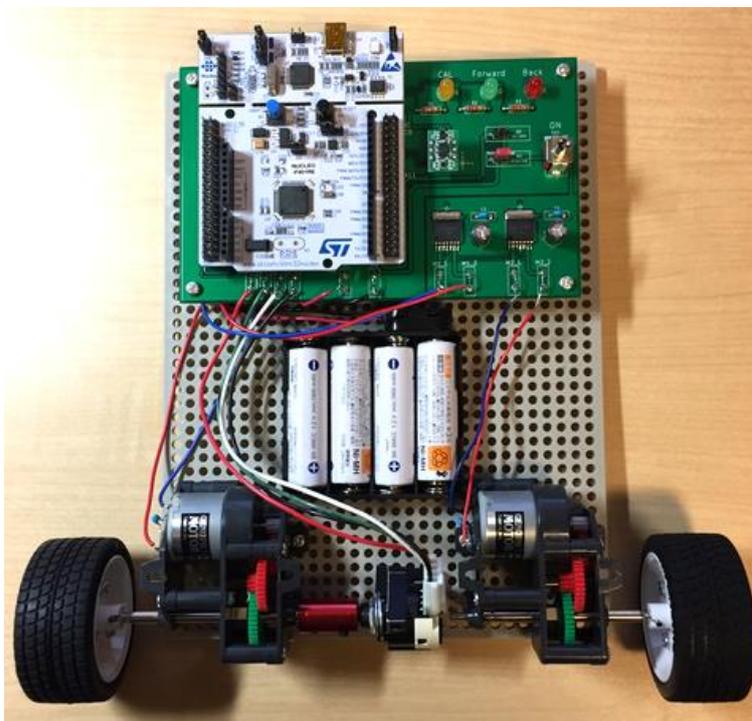


図 21： 車体の完成図（表側）.



図 22： 車体の完成図（裏側）.

5. プログラムを書き込む

【NUCLEO ボードのジャンパ確認】

NUCLEO ボードにプログラムを書き込むときは、NUCLEO ボード上の“JP5”に挿入するジャンパ・ピンが“U5V”側になっていることを確認してください。また、制御基板のスイッチを OFF してから PC と接続するようにしてください。

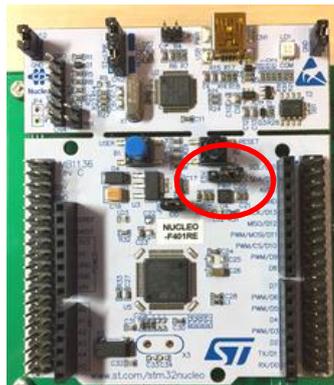


図 23： プログラムを書き込むときは、“JP5”の“U5V”側をショートする。

5-1. バイナリ・ファイルをそのまま使う場合

このキットの販売ページから、バイナリ・ファイル“IP-01.bin”をダウンロードしてください。NUCLEO ボードと PC を USB 接続すると、フラッシュ・メモリとして認識されます。ここに、“IP-01.bin”をドラッグ&ドロップして書き込んでください。これで作業はすべて完了です。

5-2. 自分でコンパイルしてバイナリを生成する場合

【mbed に登録する】

自分でプログラムを変更したい場合は、以下の手順にしたがってください。ここでは、NUCLEO ボードのソフトウェア開発に“mbed”（エムベッド）プラットフォームを利用する方法を紹介します。

mbed のページ (<https://os.mbed.com>) にアクセスし、“Sign up free”をクリックしてアカウントを作成します。



図 24： mbed のトップページ。“Sign up for free”をクリック。

【コンパイラ画面を開く】

サイン・インしたら、画面右上の“Compiler” ボタンをクリックします。初めてコンパイラを使う場合は、次図のような画面が表示されます。“Personal projects” を選択して、“Next” をクリックします。

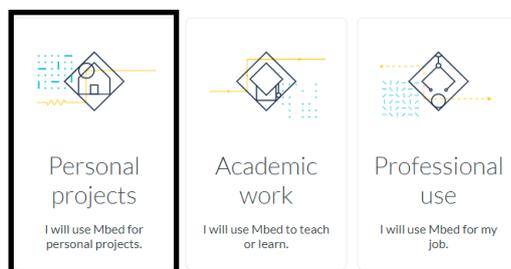


図 25： 初めてコンパイラを使うときに表示される画面。“Personal projects” を選択する。

続いて次図のような画面が表示されるので、使用するマイコンを選択します。検索入力欄に“STM32F401” と入力すると“NUCLEO-F401RE” ボードが候補に挙がるので、これをクリックします。“Finish” をクリックすると、コンパイラのメイン画面に遷移します。

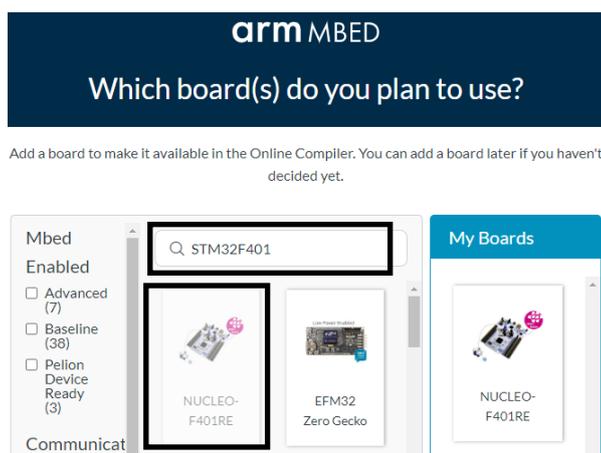


図 26： “NUCLEO-F401RE” ボードを選択する。

【新しいプログラムを作成する】

以下、mbed のコンパイラ画面 (<https://ide.mbed.com/compiler>) で作業を進めます。

開発環境のページへ移動すると、次図のように新しいプログラムを作成するダイアログが出ます（出ない場合は、左側の列に表示される「マイプログラム」を右クリックして「新しいプログラム」をクリックします）。ここで、「プラットフォーム」が“NUCLEO-F401RE” になっていることを確認してください。「テンプレート」は、デフォルトの“Nucleo board with Seeed bot and bluetooth shields demo” を選びます。「プログラム名」は好きに決めて構いませんが、今回は“test” としておきます。これで「OK」 ボタンをクリックします。



図 27： mbed で新しいプログラムを作る。

次図のようにプロジェクトに登録されているすべてのソース・コードおよび設定ファイルが表示されます。ここで“main.cpp”をダブルクリックすると、ソース・コードの編集画面が開きます。今回はプロジェクトの枠組みを利用するだけなので、もともと記述されているソース・コードは消去してください。

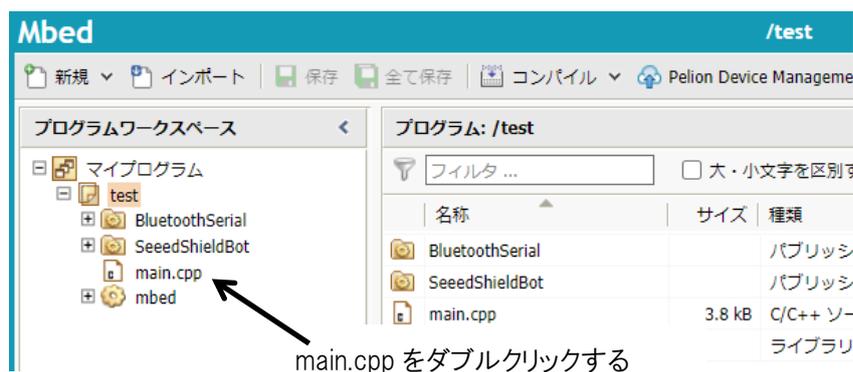


図 28： プログラムの管理画面。

“main.cpp”をダブルクリックするとソース・コードを編集できる。

このキットの販売ページから、C++ソース・コードの“IP-01.cpp”をダウンロードします。テキスト・エディタなどで開き、すべての内容を mbed 上の“main.cpp”にコピー&ペーストします。“ctrl + d”キーを押すと、コンパイルが実行されます。

必要に応じてソース・コードの内容を編集し、実験などにご利用ください。

6. 動作確認

【Ni-MH 充電電池を使う場合（5 V 電源）】

- (1) NUCLEO ボード上の“JP5”のジャンパ・ピンを“U5V”側にしてください。
- (2) 制御基板上の“JP1”（5V Ni-MH と書かれている）にジャンパ・ピンを取り付けてください。
- (3) 本体を垂直に立ててください。
- (4) NUCLEO ボード上のリセット・ボタン（黒）を押した状態で、電源スイッチを ON してください。
- (5) 数秒待ってから、NUCLEO ボードのリセット・ボタンをはなします。
- (6) リセット・ボタンをはなしてから 1 秒後に黄色 LED が点灯します。黄色 LED が点灯している間は、センサの雑音を測定しています。できるだけ本体を動かさないようにします（およそ 2 秒間）。
- (7) 黄色 LED が消灯したら、通常動作モードに移ります。本体からそっと手をはなしてください。無事に直立すれば成功です。

もし安定して直立しない場合は、黄色 LED が点灯している間に本体を動かしてしまった可能性があります。もう一度 (6) の手順をやり直してください。それでも改善し無い場合はシャフト・カプラのイモネジが締まっているか、センサ・モジュールの取り付け向きは正しいか、モータの配線は正しいかなどの点をチェックしてください。

【アルカリ乾電池を使う場合（6 V 電源）】

- (1) NUCLEO ボード上の“JP5”のジャンパ・ピンを“E5V”側にしてください。
- (2) 制御基板上の“JP2”（6V Alkaline と書かれている）にジャンパ・ピンを取り付けてください。
- (3) 以降は、上記と同様です。

NUCLEO ボードにプログラムを書き込む場合は NUCLEO ボード上の“JP5”のジャンパ・ピンを“U5V”側に挿入する必要があります。ご注意ください。

7. 全回路図

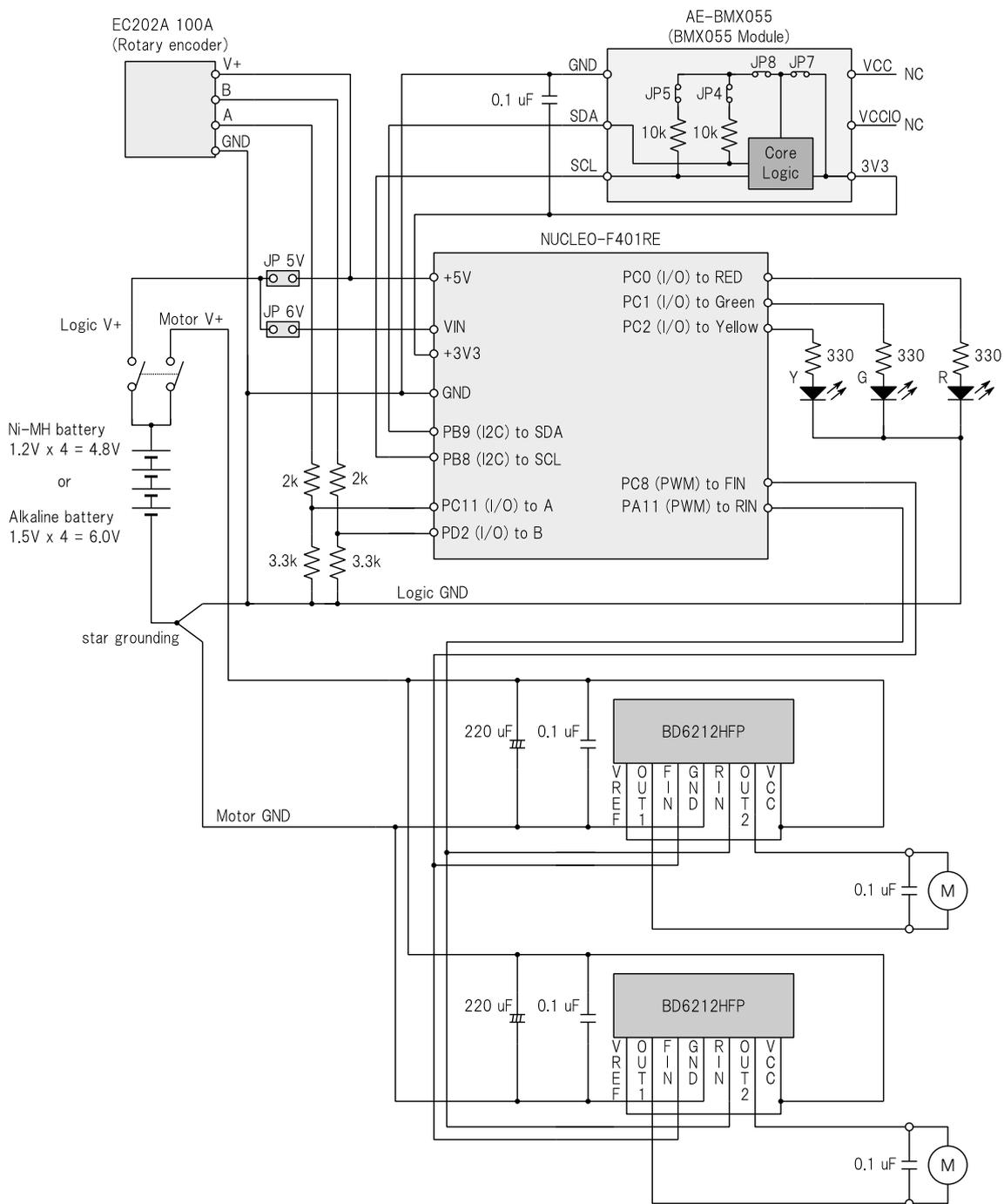


図 29： 倒立振子の全回路図。