

ロボコン用ロボットの改善

-ロボットの足回り改善-

徳永 翔大

共同研究者

大瀬 颯

目 次

第 1 章 序論	1
第 2 章 ロボコン用ロボット	2
2.1 昨年度の高専ロボコン大会の結果	2
2.2 昨年度のロボット制御システム	3
2.2.1 全体のシステム	3
2.2.2 マイコン	4
2.2.3 制御系の設計	6
2.3 足回り・その他	6
2.4 まとめ	7
第 3 章 ロボットの開発準備	8
3.1 マイクロコントローラ	8
3.2 開発環境	10
3.3 センサ	11
3.4 まとめ	12
第 4 章 ロボット製作	13
4.1 ダンスロボット	13
4.1.1 ロボットの設計	14
4.1.2 全体の制御システム	15
4.1.3 動作確認	17
4.2 モデルロボット	17
4.2.1 全体の制御システム・設計	18
4.2.2 動作確認	21
4.3 まとめ	21

第 5 章 結論	22
謝辭	23
參考文獻	24

第1章 序論

高専ロボコンの正式名称は「アイデア対決・全国高等専門学校ロボットコンテスト」である。第1回大会は1988年に「乾電池カー・スピードレース」のテーマで行われ、全国から12校の高専が参加した。当時は書類審査があり、第1回大会では24校、第2回大会では53校の応募があったため、第3回大会から予選を行い、勝ち上がった高専が本大会に出場する形となった。現在、全国の高等専門学校57校62キャンパスから124チームが北海道・東北・関東甲信越・東海北陸・近畿・中国・四国・九州沖縄で開催される地区大会に参加し、そこで選ばれた25チームが全国大会に出場できる。毎年、NHKからテーマが提案され、そのテーマを解決するロボットを製作する。年々、ロボコンでは難しいテーマになり、2018年からチームで1台は人が操作できない自動ロボットのルールが追加されている。そして、大会では発想力と独創力を合言葉に、毎年魅力的なロボットが生まれ、ハイレベルな試合が繰り広げられている⁽¹⁾。

有明高専では、第2回大会から高専ロボコンに参加している。第4回大会、第5回大会ではベスト4に入賞したが、まだ有明高専は優勝、準優勝、高専ロボコン最大の名誉であるロボコン大賞を1度も受賞したことがない。そして、ここ8年は地区大会で敗退し、全国大会に出場できていない。

本研究では、有明高専のロボット研究部が他高専に勝てるロボットを製作できるようになることを目的とし、モデルとなるロボットを開発する。そして、技術を習得し、ソフトウェア、ハードウェア、考え方などを有明高専ロボット研究部に伝えることで問題解決を図る。

第2章 ロボコン用ロボット

本章では、2019 年度以前の高専ロボコン大会における有明高専ロボット研究部の状況について概要，その問題点を述べる。

2.1 昨年度の高専ロボコン大会の結果

昨年度のロボコンのテーマは「らん ♪ RUN Laundry」であり，制限時間 2 分 30 秒で得点勝負する，という内容であった。それは，本物の T シャツ・バスタオル・シーツをフィールドに設置された 3 本の物干し竿に 2 台のロボットとチームメンバーが助け合ってチャレンジする「洗濯物干し」競技である。この年の高専ロボコンは 1 チームに最低 1 台は自動ロボットを編成しなければならず，2.5 メートル以上横幅のあるシーツを自動ロボットで 2 メートルの物干し竿にかけなければならない。人の届かない位置にある物干し竿にシーツを掛けなければならないため，自動ロボットの精密なコントロールが大会では求められた。高専ロボコン九州地区大会に有明高専は A，B の 2 チームで参加し，ントローラで動かす手動ロボットは想定通りに動作したが，自動ロボットはうまく動作しなかった，結果両チームとも予選敗退となった。図 2.1 が大会の様子である。



図 2.1 2019 年ロボットコンテスト九州大会

2.2 昨年度のロボット制御システム

2.2.1 全体のシステム

自動ロボットの制御システムを図 2.2 に示す。センサ部に、フォトインタラプタ、光電センサを使用し、制御部にマイコン Arduino Mega 2560 を使用し、アクチュエータとして DC モータ、サーボモータ、電磁弁を使用した。これらのアクチュエータを制御する回路としてサーボモータ用 3 端子レギュレータを使用した降圧回路、電磁弁用スイッチング回路、動輪モータおよびアームモータ用モータドライバを使用した。センサとアクチュエータはロボットにより変わるが、大まかに 2 つから 10 数個使用している。マイコンは各ロボットに 1 台ずつ搭載した。マイコンはセンサからの周囲の状況を確認し、それに応じてアク

チュエータを動かす。自動ロボットでは、ライントレース制御と壁面からの距離によりロボットの位置把握，移動を行った。

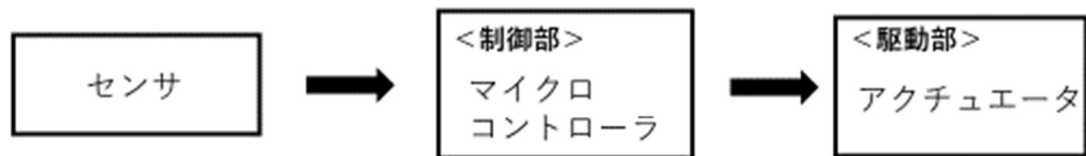


図 2.2 昨年度のロボット制御システム

2.2.2 マイコン

有明高専ロボット研究部ではメイン用のマイコンとして Arduino を使用していた。Arduino の開発は、2005 年イタリアの Interaction Design Institute Ivrea (IDII) で 5 人のグループが「もっとシンプルに，もっと安価に，技術者として学生でもデジタルなものを作ることができるようにする」という目的を据えた「Arduino プロジェクト」を立ち上げるところから始まった。その後「メイカームーブメント」の追い風もあり世界でも一般に普及したマイコンボードの 1 つとなった。Arduino は様々な種類のボードが存在しており，代表的なボードとして，Arduino Uno，Arduino Mega 2560，Arduino Due がある。この 3 種類の性能を表 2.3 に示す⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。有明高専ロボコン部が使用していたのは Entry Level シリーズの「Arduino Uno」と Enhanced Features シリーズの「Arduino Mega 2560」の 2 種類を使用した。開発環境として Arduino IDE を採用した。Arduino IDE とは主に Arduino などのマイコンボード用のプログラムを開発で，シンプルな構成となっており，初心者にも扱いやすい。

表 2.3 Arduino の性能表

仕様	Arduino Uno	Arduino Mega 2560	Arduino Due
基板サイズ	74.9×53.3 mm	101.52×53.3 mm	101.6×53.3 mm
マイコンチップ	ATmega328P	ATmega2560	AT91SAM3X8E
動作周波数	16 MHz	16 MHz	84 MHz
SRAM	2 kB	8 kB	96 kB
Flashメモリ	32 kB	256 kB	512 kB
EEPROM	1 kB	4 kB	—
動作電圧	5 V	5 V	3.3 V
電源入力電圧	7～12 V	7～12 V	6～20 V
出力電圧	5V, 3.3 V	5V, 3.3 V	5V, 3.3 V
デジタル入出力 (I/O) ピン	20本	54本	54本
PWM出力ピン	6本	15本	12本
アナログ入力ピン	6本	16本	12本
アナログ出力ピン	—	—	2本
端子の定格電流	40 mA	20 mA	800 mA
その他 インターフェース	UART, I2C, SPI	UART, I2C, SPI	UART, I2C, SPI, CAN, USB

2.2.3 制御系の設計

この制御システムの設計手法として、ボトムアップ設計を行った。ボトムアップ設計では、最初にシステムを構成する個々の部品を細部まで設計する手法である。そして、部品群を組み合わせでより大きな部分を作っていく、最終的にシステム全体を構成する。ここでは、センサから読み取る、モータを動かす、電磁弁を動かすなど各部分のプログラムを製作しそれを組み合わせで全体のプログラムを完成させた。設計方法にはボトムアップ設計とは正反対のトップダウン設計がある。トップダウン設計とは段階的に詳細にしていく設計技法であり、最初にシステム全体の構成を考えそこから枝分かれ的に必要な工程を書き出し設計する。その時点では個々の詳細には立ち入らずその後、システムの個々の部分の設計を段階的に詳細化する手法である。

ソフトウェア工学においてこの2つの手法は非常に重要な意味を持ち、トップダウン設計とボトムアップ設計を組み合わせで設計する手法が一般的である。トップダウン設計でシステムを詳細化していき、ボトムアップ設計でその修正を行う。ロボコンでもこの設計法が非常に重要になると考えられる。

2.3 足回り・その他

足回りは自動ロボット、手動ロボットともにオムニホイールを使用した4輪駆動となっている。オムニホイールを使用することで前後・左右・斜め、すべての方向への移動、旋回をすることができる。実際に大会に出場したロボットの足回りの写真を図 2.4 に示す。ただ、マイコンにはウォッチドックタイマなどのエラーリカバリー機能を実装できていない。

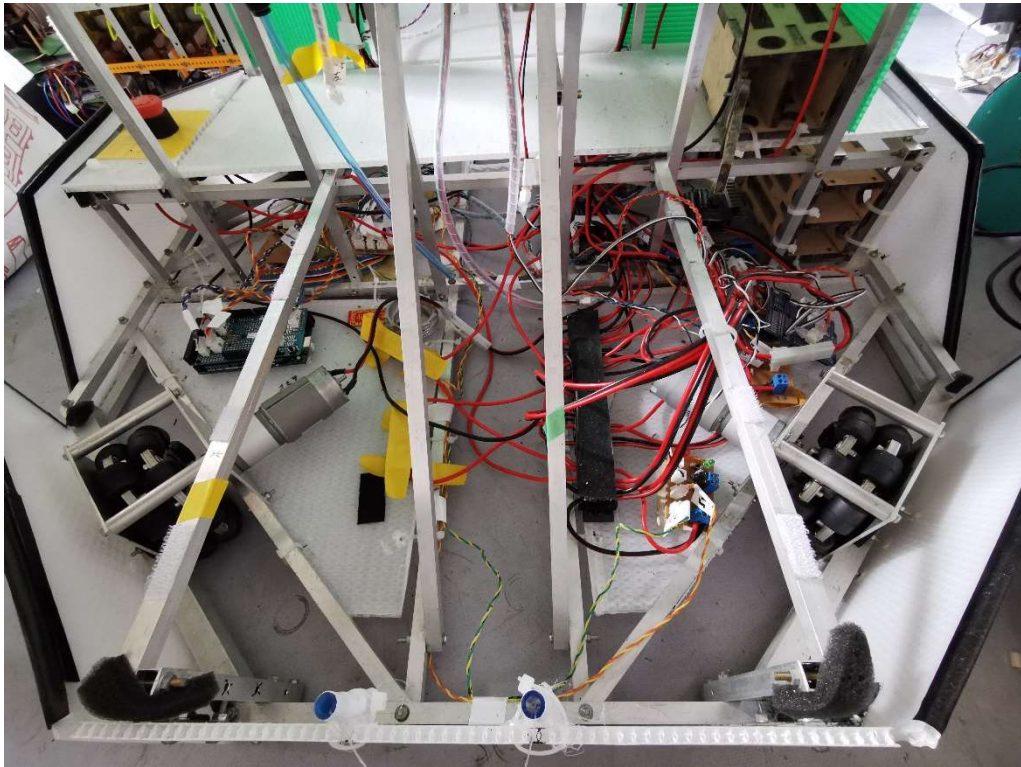


図 2.4 昨年度のロボットの足回り

2.4 まとめ

九州の他高専では、メインマイコンに Arduino より遥かに高速で安価である STM32 シリーズを使用してロボットを製作している。そのため、他高専に比べ、有明高専ロボット研究部のロボット制御に関する知識と技術は現状では不十分である。今後は、有明高専ロボット研究部の現状の不十分なところを改善するため、第 3 章にロボットを開発の準備を述べ、第 4 章に開発した 2 台のロボットについて述べる。

第3章 ロボットの開発準備

本章では，ロボットを開発するのに必要なマイコン，開発環境，制御技術について述べる。

3.1 マイクロコントローラ

本研究では，3 種類のマイコン micro:bit，STM32F4 シリーズ，ESP32 を使用する。これらを図 3.1 に示し，左から ESP32，STM32F446RE，micro:bit である。

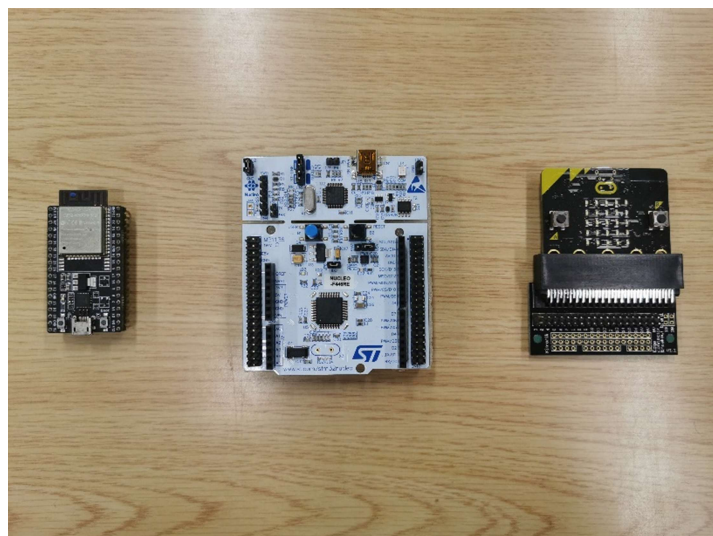


図 3.1 各種マイコン

この中で、ESP32 は低消費電力および無線通信が優れている。特に、無線通信では、Wi-Fi, Bluetooth を内蔵しており、ESP32 を使用することで遠隔操作が可能になり、大規模な多数の無線通信を実行することができる。また、価格も 1480 円（秋月電子通商）と安価である。ロボコンでは主に通信用マイコンとして使用する。

次に、STM32F4 シリーズは処理能力が優れている。STM32F4 シリーズは ST マイクロエレクトロニクス社の ARM Cortex-M4 を搭載し、デジタルシグナルプロセッサと浮動小数点ユニットによる高度な機能を備えた高性能マイコンである。今回使用した STM32F446 は最大動作周波数 180 MHz と非常に高速であり、メモリサイズ、機能、価格のベストバランスのマイコンとなっている。そのため、ロボコンではメインの制御マイコンとして使用する⁽⁵⁾。

最後に、micro:bit は初心者でも簡単に扱える点において優れている。イギリスの BBC（英国放送協会）が主体となって開発された教育向けのマイコンボードであり、小学生でも扱えるマイコンとなっている。入出力として 25 個の LED と 2 個のボタンスイッチが搭載されており、バージョン 2.0 ではスピーカーとマイク、明るさセンサ、加速度センサ、地磁気センサが内蔵されているため、センサとしても申し分ない役割を果たす。micro:bit は発売日と予算の関係上、バージョン 1.5 を使用する。バージョン 1.5 は、バージョン 2.0 と比較すると、スピーカーとマイクが搭載されていない。

無線通信機能は Bluetooth LE と独自の無線機能が CPU に組み込まれており、周辺機器との接続や micro:bit 同士の無線通信が非常に簡単に行える。ロボコンでは、センサ兼通信用マイコンとして使用し、新入生の教育用としても使用することができる⁽⁶⁾。

本研究では、通信用マイコン、センサとして micro:bit を使用し、メインの制

御用マイコンとして STM32F4 シリーズを使用する。

3.2 開発環境

開発言語として MicroPython を使用し、開発環境として TeraTerm や Mu エディタを使用し、開発を行う。MicroPython は Python3 と高い互換性を持つプログラミング言語であり、メモリの消費量が多い関数を Python から取り除いた、組込プログラムに最適である。また、サポートされたコマンドを即時実行するための対話型プロンプト (REPL) も用意されている。MicroPython はスクリプト言語なので、実行速度が遅く、試験や実験用としては優れているが、ロボコンの本番用で使用するには、注意が必要である。よって、ロボコン本番用では、コンパイラ言語である C 言語を使用するのが最適だと考えられる。

本研究では、時間の都合上 MicroPython を使用して研究を進めた。マイコンと PC をシリアル通信し MicroPython を動かすために TeraTerm を使用する。また、micro:bit では Mu エディタを使用した。Mu エディタとは元々 micro:bit 用 MicroPython 専用エディタであり、現在は PygameZero でもゲーム作成、Python3 コード作成、CircuitPython と複数のモードが用意されている。記述したプログラムをボードにそのまま転送することができ、REPL も用意されているため、非常に使いやすいエディタとなっている。Mu エディタの使用例を図 3.2 に示す。

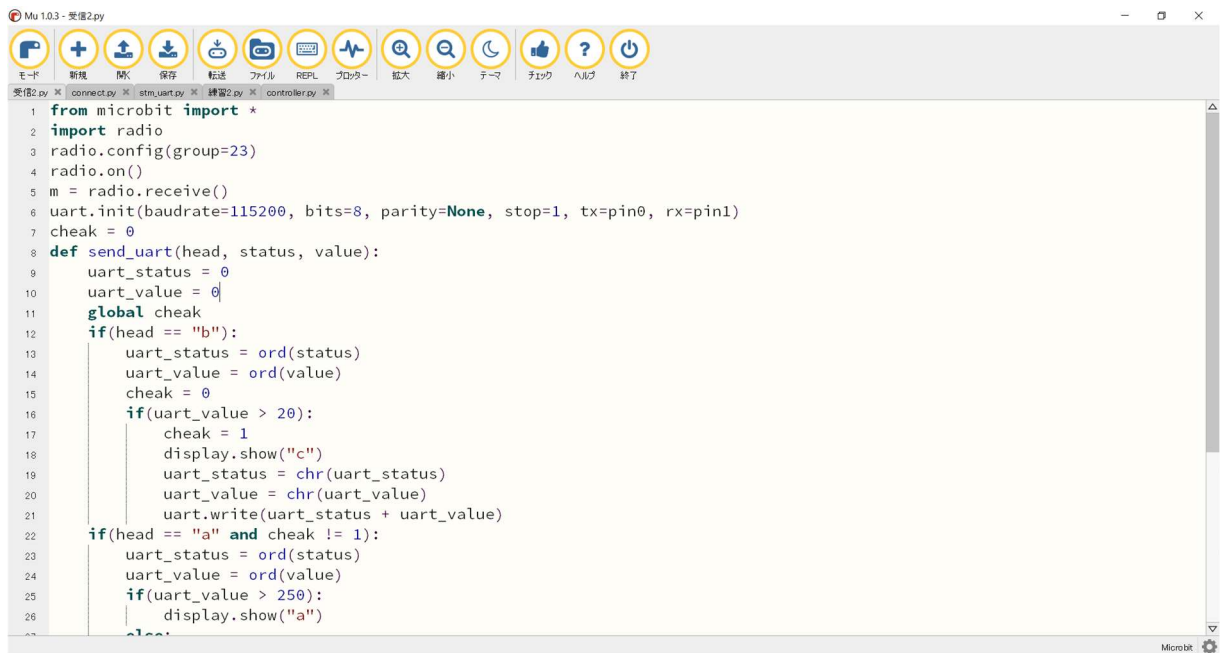


図 3.2 開発環境 Mu エディタの使用例

3.3 センサ

本研究で使用したセンサを図 3.3 に示す。左から、ライントレース用センサ，micro:bit，カメラである。ライントレース用センサは小型フォトリフレクタの集合体で構成されており，赤外線 LED と Si フォトトランジスタを組み合わせでできている。このセンサは各フォトリフレクタ外部回路に可変抵抗が取り付けられており，この可変抵抗で赤外線 LED の発光強度を調節できる。micro:bit を加速度センサ，地磁気センサとして使用する。micro:bit をロボット本体に取り付け，この micro:bit で位置把握を行う。まず，加速度センサを使用し，micro:bit の向きを求める。次に，ロボットの現在地を加速度センサより求める。加速度を積分し，速度に変換する。さらに積分して，位置へと変換する。この数値積分には，オイラー法，台形法，シンプソン法などがある。カメラに使用するインテル製 RealSense435 には，深度計測が可能なステレオビジョンの深度カメラ

が 2 つ，RGB センサ，IR 投射器が搭載され，グローバルシャッターと広い視野角を備えている。また，Python を使用してコントロールすることができる。本研究では使用する予定だったが，時間の都合上使用しない。

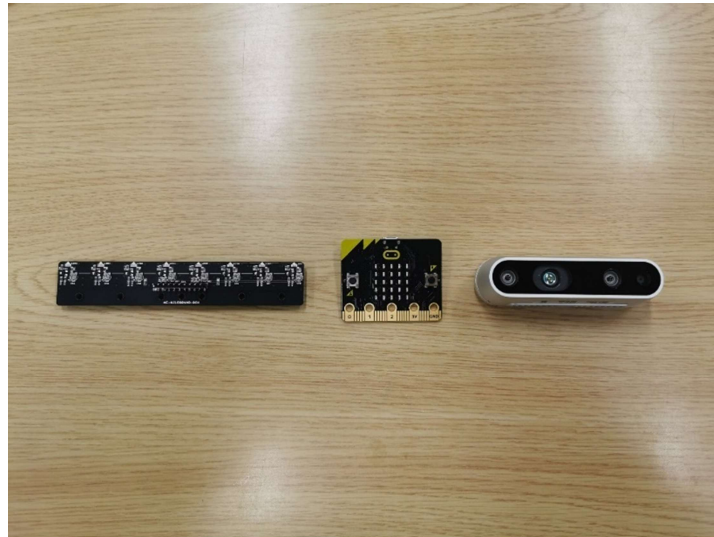


図 3.3 各種センサ（左より，ライントレース用センサ，micro:bit，カメラ）

3.4 まとめ

マイコンは，昨年度の有明高専ロボット研究部で使用した Arduino より安く高性能な STM32F4 シリーズと micro:bit を使用し，センサは本章で記述した物を使用する。

第4章 ロボット製作

本章では，製作したロボットについて述べる。ロボットは今年度のロボコンで実際に使用したダンスロボットと，来年度以降用のモデルロボットの2つがある。

4.1 ダンスロボット

今年度のロボットコンテスト九州・沖縄大会で出場させるロボットを本研究の研究成果を使用し製作した。これを有明高专ロボット研究部 B チームのダンスロボットに使用し，4 台のダンスロボットを同時に移動し，ダンスさせた。スタート地点から目標地点までの移動はライントレースを用いて実現し，4 台のロボットを同期させるために，**micro:bit** の無線通信機能を使用した。ロボットには腕があり，この腕は 1 本に対し 2 つのサーボモータで動作している。図 4.1 にロボットの外見を示す。



図 4.1 ダンスロボット外見

4.1.1 ロボットの設計

トップダウン設計とボトムアップ設計を組み合わせ、ロボットの設計製作を行う。図 4.2 に示すように、大会のルールを把握し、ロボットの理想の動作を考える。この動作の解決方法を考え、それをプログラミングに起こす。そして、動作確認を行い、製作したロボットの欠点を各部の細かいところから修正し、ロボットを完成させる。そこで必要となるのが、各ルーチン間のコマンド設計である。このコマンドを適切に設計することで送受信する情報をまとめ、効率的にロボットを動作させることができる。また、チーム開発で共有の情報とすることにより、チーム開発をスムーズに行うことができるなど利点がある。実際に設計したコマンドを図 4.3 に示す。1 バイトでロボットの進行方向とスピードを指示する内容とする。最上位 2 ビットで動作状態、6 ビット目で旋回方向、5 と 4 ビット目で曲がる度合い、下位 3 ビットでスピードを指示する。

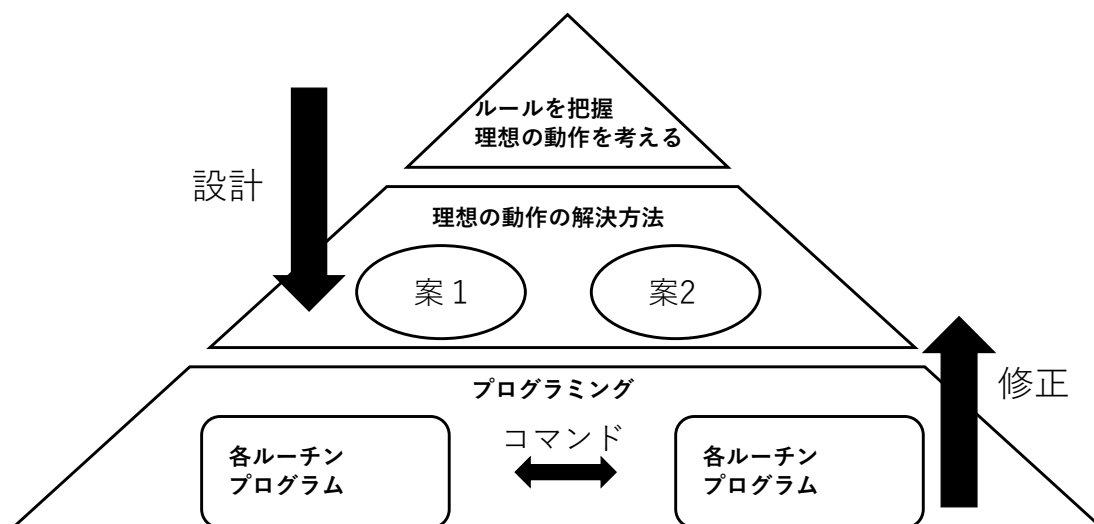


図 4.2 トップダウン設計とボトムアップ修正

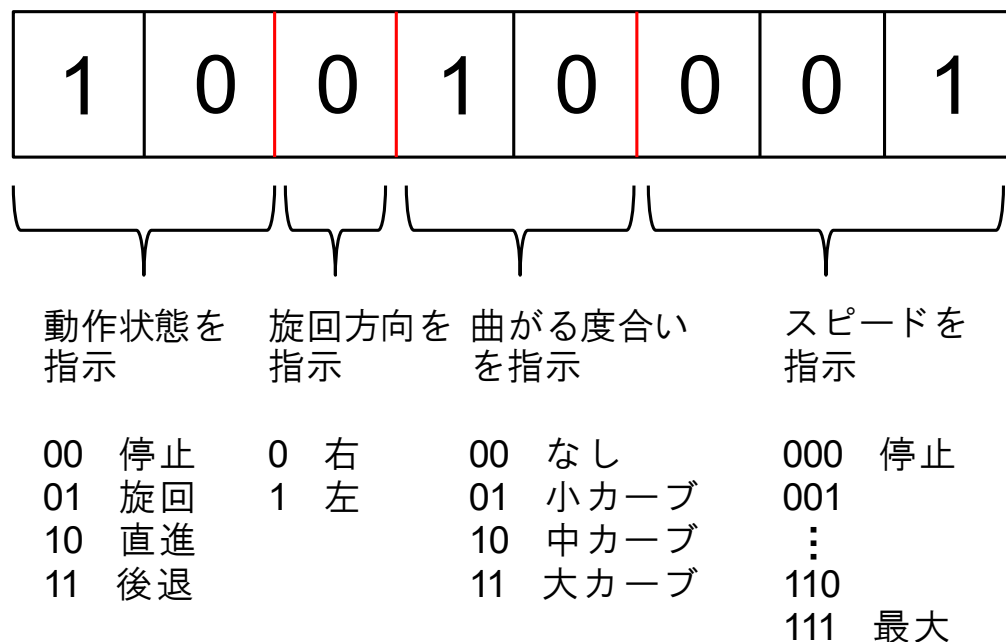


図 4.3 設計したコマンドの内訳

4.1.2 全体の制御システム

全体の制御システムを図 4.4 および図 4.5 に示す。4 台のダンスロボットを同期させるために、micro:bit を 5 個使用し、1 個をコントローラ兼送信用、他 4 個を受信用兼 STM32 との通信用として使用する。操作部のコントローラから特定の 1 バイトをコマンドとして送信し、このコマンドを受信することにより 4 台を同時に動作させる。メインの制御部である STM32 では、ライントレース用センサと micro:bit からのコマンドにより、駆動部を動作させている。設計で述べたコマンドは STM32 内だけで完結しており、センサからの信号により状況判断をするルーチンがコマンドを生成し、このコマンドを駆動用ルーチンへと送信することでライントレースを実現させている。また、ダンスのためのサーボモータは、コントローラからのコマンドとタイマー制御により動作している。

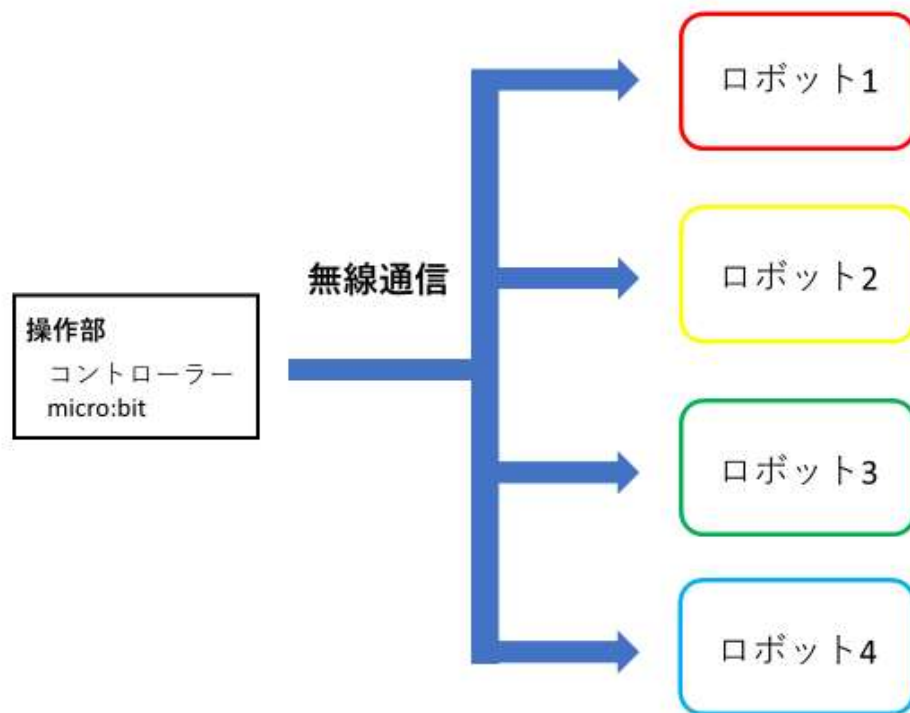


図 4.4 micro:bit での同時通信

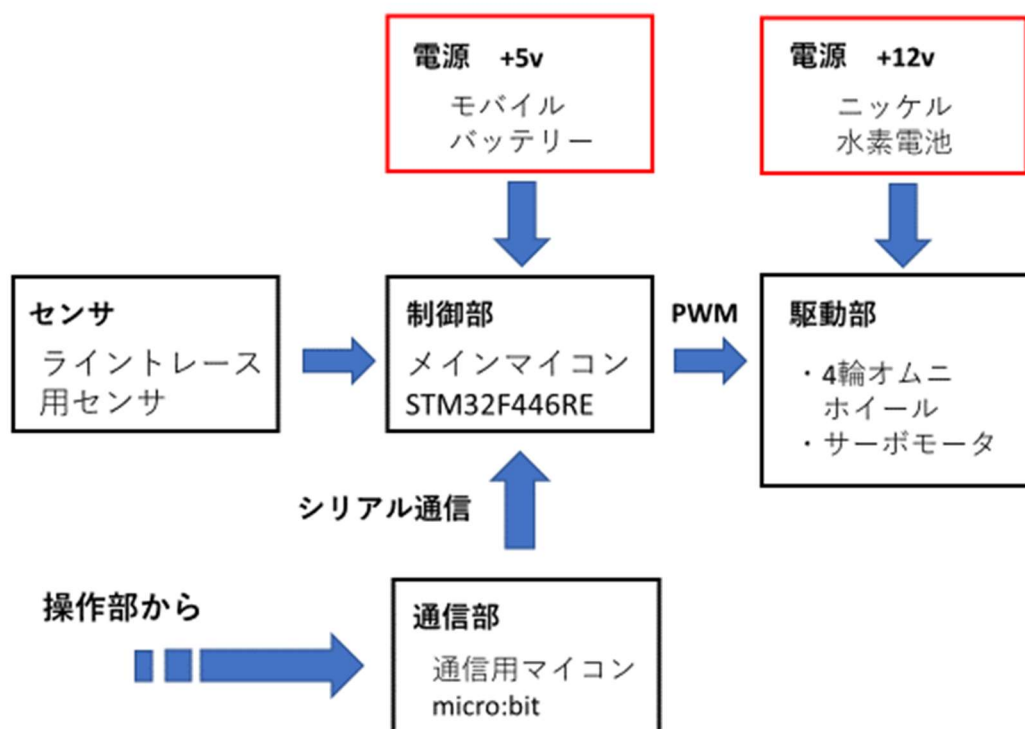


図 4.5 制御システム

4.1.3 動作確認

1 バイトコマンドで動作するように設計したため、PC のキーボードから動作確認を行う。PC と STM32 をシリアル通信で接続し、キーボードを押すことでロボットが動作する。送信するデータは ASCII コードで送信されるため、STM32 では受信した信号は最上位ビットが 1 にならないため、128 で論理和をすることで直進、後退の動作モードとしてロボットを動かす。実際にロボットを動作させると、打ったキーボードに合う動作をすることを確認できた。

4.2 モデルロボット

今年度のロボコンではコロナウイルスの影響のため遠隔開催となり、テーマも自由課題であったため、高度な制御は必要なかった。しかし、近年ではロボコンに高度な制御技術が求められるため、現在の有明高専ロボット研究部のロボットでは不十分である。そこで、ロボコンで最も重要性が高い足回りに限定して改良を行う。目的として、ロボットがスタート地点から目標地点まで高速で正確に移動できるようにする。改良内容はロボットが正確な位置把握を行えるようにし、micro:bit をセンサ、通信、コントローラとして使用し STM32 をメインマイコンとして製作する。改良したロボットの制御システムを有明高専ロボット研究部に伝える。完成したロボットを図 4.6 に示す。

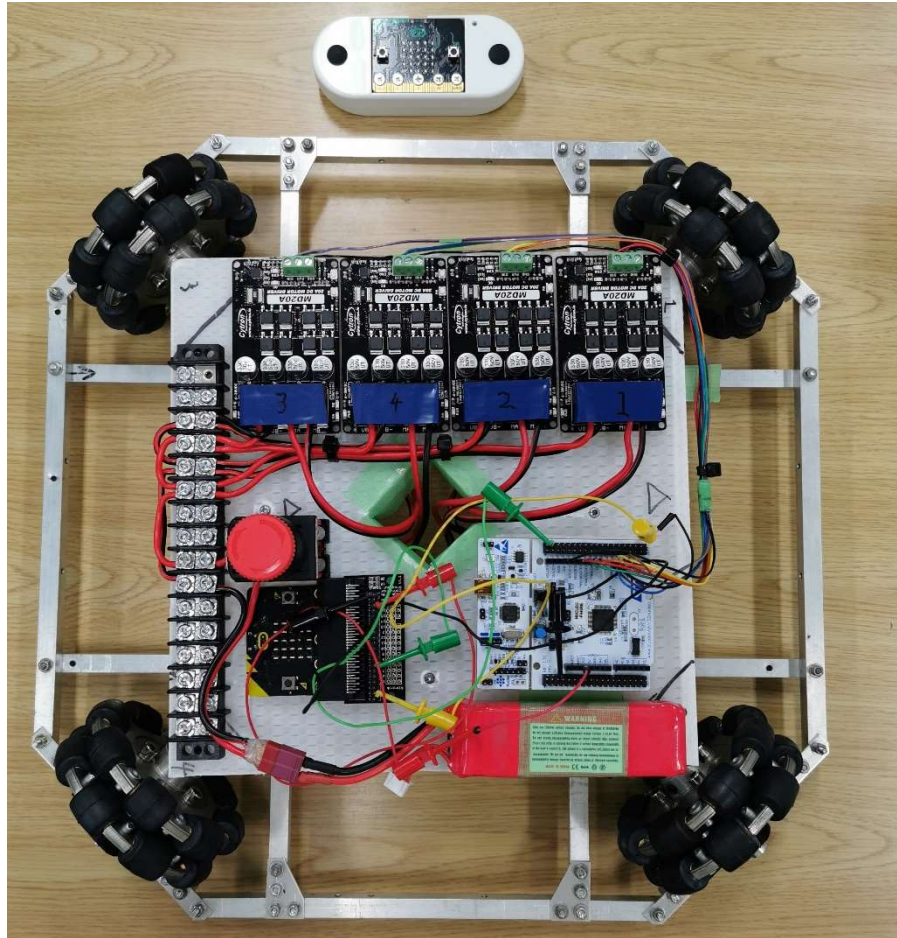


図 4.6 製作したモデルロボット

4.2.1 全体の制御システム・設計

改良ロボットの設計方法は 4.1.1 節の設計と大きく変わらない。設計の変更点は、ロボットを正確に速度も細かくコントロールするため、ルーチン間でやり取りするコマンドを 1 文字から複数文字に変更する。1 文字目で状態を表し、コマンドの内訳を図 4.7 に示す。PC のキーボードで実験できるように最上位ビットは何も設定しない。2 文字目はロボットの移動するスピードを指定する。8 ビットすべてでスピードを指定することで、細かな操作が可能となり、このビットパターンに応じたデューティ比を PWM として出力する。さらに、位置把握を行うには、micro:bit のセンサ情報が必要となるため 3 文字目、4 文字目に

センサからの情報を乗せて STM32 に送信する。

図 4.8 に制御全体のシステムを示す。シンプルな構造となっており，2 つの micro:bit と STM32 でロボットを制御する。図 4.6 に示すように 1 つ目の micro:bit をコントローラとして使用し，左右のアナログパッド，A ボタン B ボタンでロボットを操作する。この micro:bit から，ロボット本体に乗っている通信用 micro:bit に無線通信でコマンドを送信し，通信用 micro:bit が UART でコマンドを STM32 へと送信する。そして，STM32 がコマンドから動作する状態とスピードを把握し，ロボットが動作する。micro:bit の A ボタン B ボタンを押すと特殊コマンドが送信され，ロボットのスピード段階が任意で変更できるようにする。これを行うにあたり，コントローラである micro:bit のスピード段階の情報と，STM32 のスピード段階の情報を合わせなければならない。そのため図 4.8 に示すように相互通信を行いスピード段階の情報を合わせる。

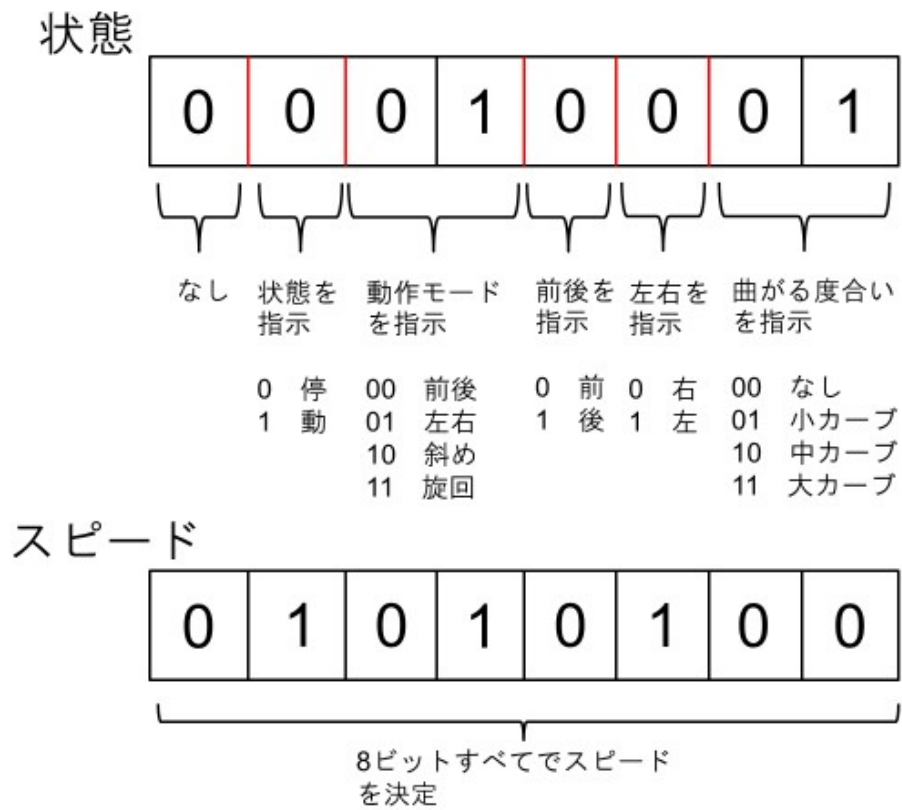


図 4.7 モデルロボットのコマンド内訳

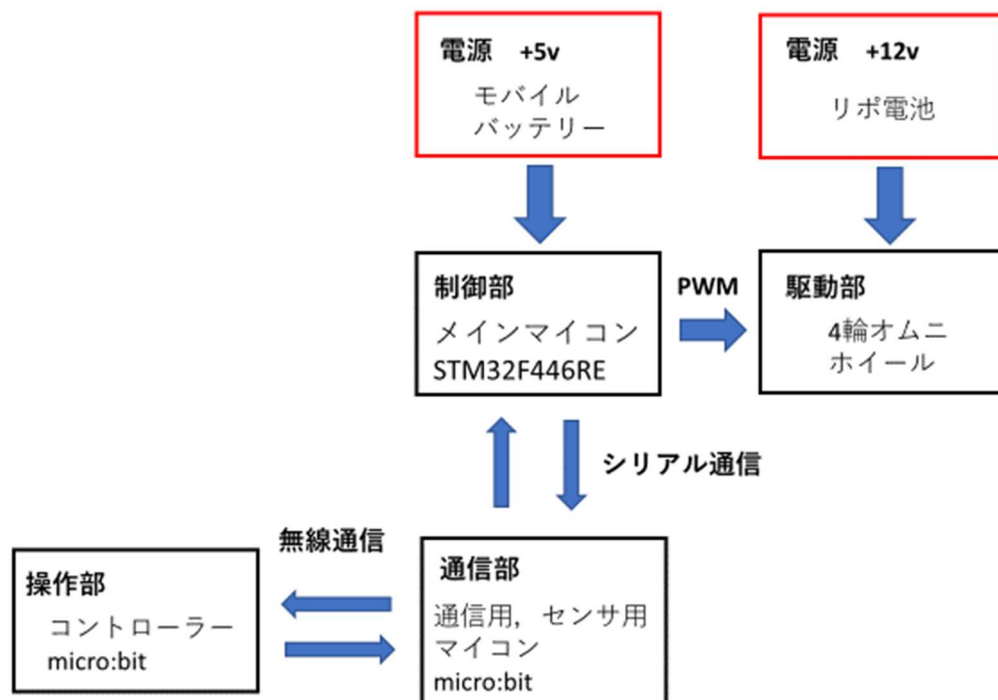


図 4.8 モデルロボットのシステム

4.2.2 動作確認

送信するコマンドを複数文字にしたことによりロボットの変幻自在な動作をスムーズに行うことができた。様々な動作をできるようにすることでロボットがどの位置，どの方向を向いていても，現在地から最短ルートで目的地へと最速で移動できるようになった。

4.3 まとめ

ロボットコンテスト九州・沖縄大会本番でダンスロボットは想定通りの動作をすることができた。ロボットの同期，ライントレースは問題なく動作した。全国大会には出場することができなかったが，本研究の研究成果を使用していない有明高専ロボット研究部 A チームに比べ良い成績を残すことができ，大会で活躍することができた。

モデルロボットでは `micro:bit` の加速度センサから 2 回積分し，位置になおす処理が完成しなかったため，モデルロボットの位置把握システムは完成しなかった。この点を今後の課題とする。

第5章 結論

有明高専ロボット研究部のロボット制御における問題点を考え、問題点を解決するロボットを2台製作することができた。第4章にも記すよう本研究の研究成果を一部使用したロボットで大会に出場し、活躍することができた。また、本研究の研究成果をロボット研究部にすべて伝え、ロボット開発の手助けとなることを期待する。

今後の展望として、本研究では完成することのできなかつた位置把握システムを完成させ、C言語で開発を進めてもらいたい。また、今回研究しなかつたマイコン、センサ、制御方式を研究し、他高専より強いロボットを製作してほしい。そして、有明高専ロボット研究のさらなる発展と、来年度以降のロボットコンテストで優秀な成績を残してくれることを期待する。

謝辞

1 年間ロボット制御の研究を行うにあたり，創造工学科エネルギーコース泉勝弘先生にはロボット制御の基礎から設計，様々な制御方法などを詳しく，ご丁寧にご教授いただき，ありがとうございました。そして日々の研究の中で，知識や示唆をいただいた共同研究者の大瀬颯さん，研究室の糸永夏奈さん，古賀啓太さんに心から感謝します。

参考文献

- (1) NHK 高専ロボコン, <http://www.official-robocon.com/>
- (2) Arduino UNO データシート,
<https://docs.rs-online.com/ab83/0900766b80e8ba21.pdf>
- (3) Arduino MEGA 2560 データシート,
<https://docs.rs-online.com/9ab3/0900766b80e8ba22.pdf>
- (4) Arduino DUE データシート,
https://www.mouser.jp/datasheet/2/34/Arduino_09262018_A000062-1500436.pdf
- (5) ST マイクロエレクトロニクス, “STM32F446xC/E データシート “,
2020. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f446mc.pdf>
- (6) micro:bit developer community,
<https://tech.microbit.org/hardware/1-5-revision/>