

和歌山大学学生自主創造支援部門（クリエ） クリエプロジェクト
<2024 年度ミッション成果報告書>

プロジェクト名：きのくに電鉄プロジェクト

ミッション名：5 インチゲージ台車の制作および制御システムの開発

ミッションメンバー：システム工学部 2 年 氏原 伊吹, システム工学部 4 年 香山 力也,
システム工学部 4 年 山脇 秀介, システム工学部 3 年 松浦 和貴,
システム工学部 2 年 松本 遼, システム工学部 1 年 秋谷 快勇

キーワード：5 インチゲージ鉄道, 台車設計, 3DCAD, ブラシレス DC モーター, Raspberry Pi

1. 背景と目的

きのくに電鉄プロジェクトではモノづくりと地域活性化を融合した活動を行う事を目指している。活動を開始するにあたって、イベントで走らせることができる 5 インチゲージ鉄道という規格のミニ鉄道を制作することになった。そこで、近年の小型モビリティの普及によって容易に入手できるようになった小型のブラシレス DC モーターとモーターコントローラーを用いて車両を制御しようと考えた。

本ミッションでは、ESC と呼ばれるモーターコントローラーを用いてブラシレス DC モーターを制御することによるモーター制御技術の向上と、制御機器同士の通信機能や制御プログラムの制作によるプログラミング技術の向上を目的として活動を行った。また、台車を制作し、車両操縦用のゲームコントローラーの情報をもとに、ミニ鉄道の車両に搭載した小型コンピューター (Raspberry Pi) とモーターコントローラーの間で通信を行い、モーターを用いて制御することを目標とした。

2. 活動内容

2.1. 台車について

3DCAD を用いた台車の設計と制作を行った。5 インチゲージでは線路幅が 127mm (5inch) であるため、この幅に合わせて輪軸・台枠などを制作しなければならない。また、車体との干渉を避けるために高さを抑える必要もあるため、駆動用の部品を車輪間のわずかな空間に搭載する必要がある。そこで、幅・長さ・高さともに 60mm 程度と小型であり、高出力で重量のある車体を動かせる H5055 モーターを選定した。このモーターは電動キックボードに用いられるブラシレス DC モーターであり、1 台で 1380W の出力があるため、将来的に人を乗せての走行にも対応できる。この台車の設計にあたって、1 台車あたり 2 台のモーターを搭載可能な構造とした。3DCAD での台車全体の設計イメージを以下の図 1 の左の画像に示す。

この台車は主に輪軸と台枠、駆動系からなる。輪軸は図 1 の中央の画像に示すように、車軸や車輪などの回転部分から構成される。台枠は図 1 の右の画像に示すように、線路と平行に配置されてベアリングを介して輪軸を固定する側はりや、2 つの側はりやモーターを固定し防振ゴムを介して車体に接続する横はりから構成される。駆動系は動力を生み出すモーター、モーターの回転軸と車軸に取り付けるプーリー、プーリー同士を繋ぎ動力伝達を行うタイミングベルトから構成される。

本格的に制作を行う夏季休業の以前に 3DCAD を用いて設計を行い、必要な材料や部品の発注を行った。調達した材料については穴あけなどの加工を行ったが、クリエの設備で加工が困難な物については外部に発注を行った。

輪軸については、車軸にプーリーと車輪を圧入したのち、ベアリングを取り付けた。台枠については、追加工を行い、2つの側はりで両側から輪軸を固定し、横はりを介して側はりをねじ止めた。また、横はりの両端に防振ゴムを取り付け、これを介して車両と接合した。駆動系については、モーターを固定用の金具で台枠に固定し、平行キーを用いてモーターの回転軸にプーリーを固定しつつ、車軸に圧入したプーリーとの間にタイミングベルトを張った。

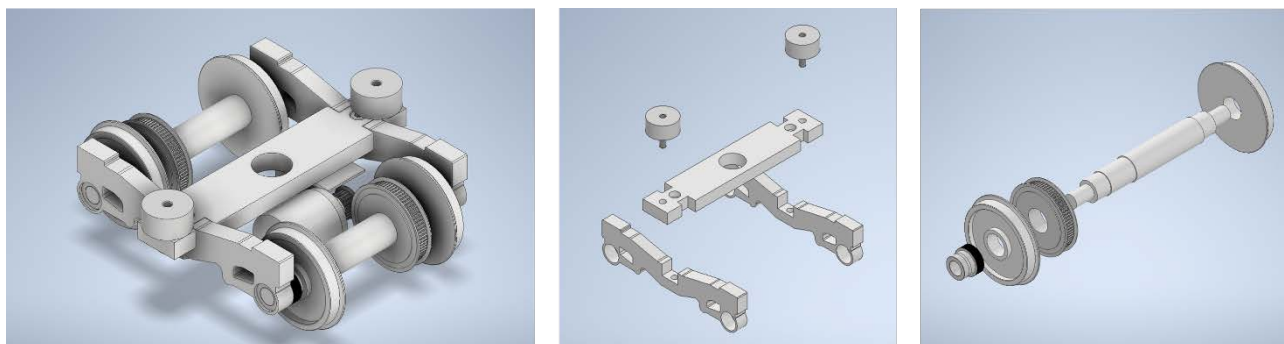


図1 台車の設計イメージ（全体、台枠、輪軸）

2.2. 制御システムについて

制御システムの開発についての活動を大別すると①各配線の接続、②運転者用のプログラムの作成、③車両制御用のプログラムの作成である。各活動の概要を説明したのち、活動の流れを示す。

配線については、電力用のより線のケーブルによる接続と信号用ケーブルによる機器間の接続を行った。まず、以下の図2に示すように電力供給用の配線を接続した。バッテリーからブレーカー、モーターコントローラー、モーターの間ではより線の導線に丸形圧着端子を取り付け、ねじやボルトによって固定した。また、以下の図3に示すように信号用の配線を接続した。モーターとモーターコントローラーとの間は付属のホールセンサー用のコネクタを使用した。小型コンピューターからモーターコントローラーやスピーカーの間などではUSBケーブルを用いて接続を行った。

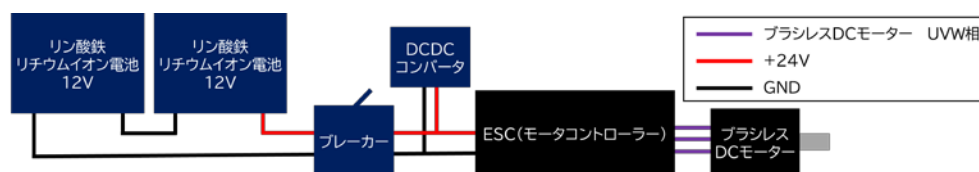


図2 電力供給用の配線の図

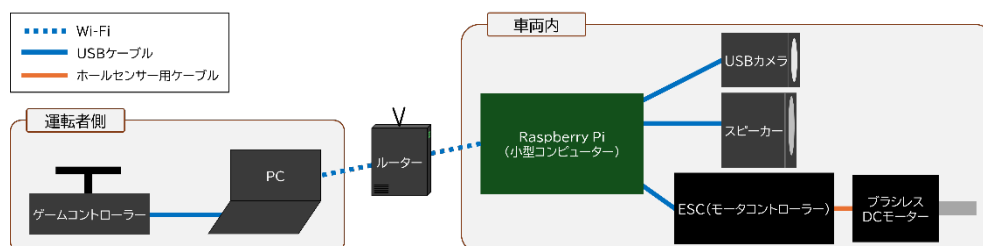


図3 信号用の配線・Wi-Fi接続の図

運転者用のプログラムはウェブブラウザ上で動作する仕様として、HTML、CSS および JavaScript を用いてグラフィック表示と運転用コントローラーの情報取得、車両との通信を行った。このプログラムは初心者が運転する場合でも車両や運転用コントローラーの状態が容易に分かることを目指して開発を行った。画面左と右下に速度計と前面展望を大きく表示し、画面左端に運転者用コントローラーでの加減速の指令状態、画面右上に前進・後退、バッテリー電圧、モーター電流などの情報を表示した。また、このプログラムに関する情報のやり取りのイメージを図 4 に示す。

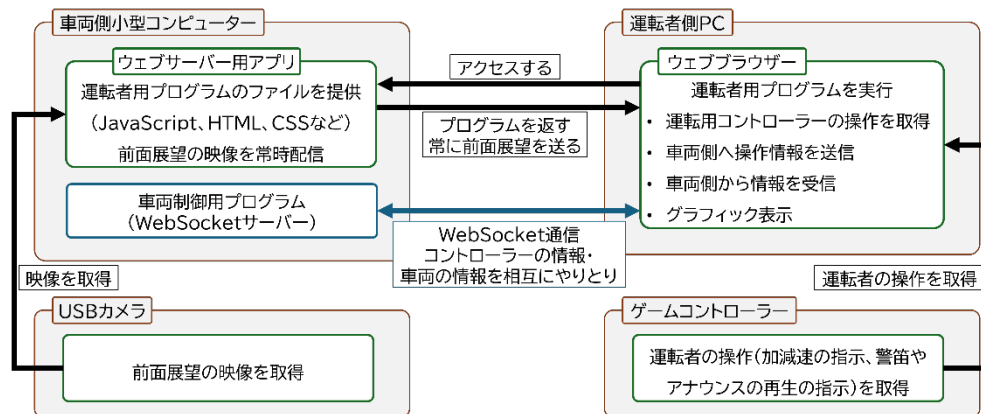


図 4 運転者用プログラムの主な実行内容と情報通信

車両制御用のプログラムでは、Python を用いて運転者側の PC との通信とモーターコントローラーとの通信、スピーカーでの音声再生などを行った。このプログラムでは、運転者側の PC から受信した運転者用コントローラーの情報と現在のモーターの状態をもとに、次のモーターの回転数を決定してモーターコントローラーに指示を出す処理と、スピーカーで音声を再生する処理、そしてモーターコントローラーから受信した各実測値の情報を運転者側の PC へ送信する処理を行っている。

このプログラムを開発するにあたって、走行中の進行方向反転のような危険な操作への対策を施すことと、プログラムの処理や通信による遅延を減らすことを意識して開発した。さらに今後の機能拡張に備えて、可読性を高めることや、処理を適度に関数化することで容易に再利用できることを目指して記述した。また、このプログラムの主な情報のやり取りのイメージを図 5 に示す。

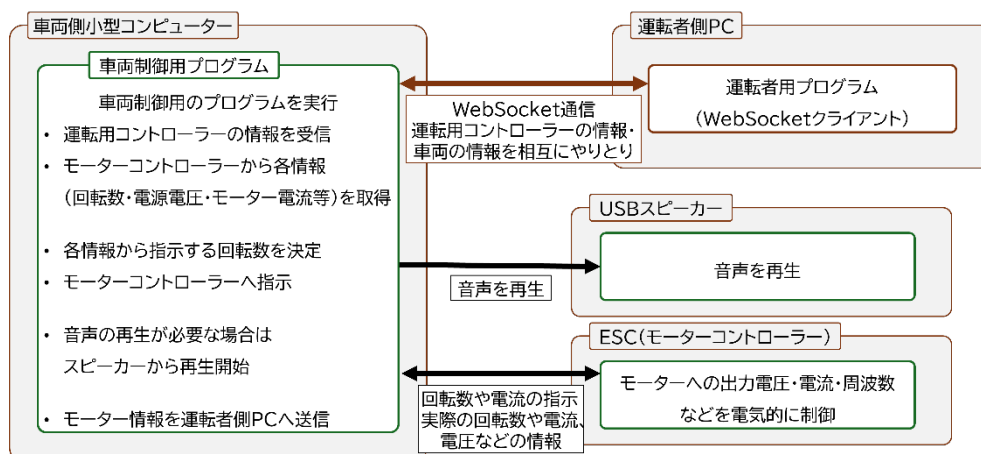


図 5 車両制御用プログラムの主な実行内容と情報通信

制御システムの開発にあたって、台車の制作が完了するまでの期間は個人の PC からモーターコントローラーへ直接指示を出すかたちで、金具で転倒や移動を防止したモーターを回転させることで開発を行った。この期間でモーターコントローラーとの通信用ライブラリである「pyvesc」の扱いを学習し、モーターコントローラーからの情報取得や、回転数の計算、モーターコントローラーへの指示の処理を記述した。また、試作段階であったグラフィック表示についても改良を行った。

台車と車両の完成後に配線の接続を行い、実際の動作環境で、運転者側との通信処理とスピーカーでの音声再生の処理を記述し、ここに予め開発したモーター関連のプログラムを追加した。しかし、この時点では一度の処理の所要時間が平均 367ms であり、運転者用プログラムとの通信間隔である 50ms を超過し、遅延が発生した。そこで実行時間の短縮に取り組み、一度の処理の所要時間を平均 5.15ms まで短縮することで遅延を解消した。

3. 活動の成果や学んだこと

20mの直線を走行するにあたって十分な性能の台車が完成した。また、初めて運転体験を行ったイベントの来場者にも直観的かつ安全に車両を操作できる制御システムが開発できた。これらの台車と制御システムにより、おもしろ科学まつりとミッション成果発表会において来場者による運転を実施できた。しかし、クリエの建物内では正常に動作する状態であっても、会場では動作が安定しない問題が発生した。原因として輸送時の振動によると考えられるねじの緩みなどの動力伝達機構の不具合と、来場者が増えた際に電波が干渉することによる Wi-Fi 接続の不安定化が挙げられる。

本ミッションの活動において、重量のある車体を安定して制御することや、エラーや遅延が不定期に発生する機器間の通信の難しさを改めて感じた。ハードウェアに関して、特に高出力のモーターやバッテリー用いるときの回路製作における注意点や安全対策について、実践的に学習できた。ソフトウェアについては、動的解析によってボトルネックや無駄な処理を改善することで処理速度を向上させる経験ができた。また、非同期通信や並行処理を用いたプログラムについて学習した。

4. 今後の展開

今後、本ミッションにおいて行えなかった曲線の走行性能についての検証や、問題が発生した会場への輸送と混線時の通信の改善を行いたいと考えている。また、線路端での自動停止機能や機械的なブレーキの実装といった安全性を高める機能の拡張を検討している。

5. まとめ

本ミッションでは 3DCAD を用いた台車の設計・制作と、JavaScript や Python 等を用いた車両の遠隔制御システムの開発を行った。この台車と制御システムを搭載した車両を用いて様々な来場者による運転体験を実施できた。一方で、将来的な乗車体験に向けての検証の不足や、実験場所での試験走行と運転会場での走行では同様のパフォーマンスを得られない問題も発生した。

本ミッションを通じて、ブラシレス DC モーターと ESC を用いた重量物の制御と、並行処理や非同期処理を用いた通信を中心に、目標とする動作を実現するための様々な処理やその動作原理について学ぶことができ、非常に良い経験をできたと考えている。