

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
<2025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インチゲージ鉄道の車体改良

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

キーワード：5インチゲージ鉄道 ミニ鉄道 Autodesk Inventor TIG溶接

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『コトづくり』を融合した活動を行う事を目的としており、ミニ鉄道の製作やイベントへの出展といった活動を行っている。

昨年度の活動の中で、ミニ鉄道を用いた体験型イベントを出展した際に走行環境および制御の安定性に関する課題が見られた。ミニ鉄道を体験型イベントで運用する場合、操作の確実性と安全性の両立が重要である。しかし、既存のシステムでは通信容量が大きいことに起因してコントローラー操作の遅延が発生していた。また、イベント時の通信環境により、当初想定していた運用形態での出展ができない場面も見られた。さらに、線路が直線軌道のみで構成されていたため、設置可能なレイアウトに制約が生じることや、緊急時により短距離で停止するシステムが必要であることも、今後イベントを展開していく上での課題となっていた。

そこで本ミッションでは、通信の安定性向上と安全機構の強化、ならびに直線軌道の増産および曲線軌道の新規設計・製作を目的として取り組んだ。

本活動の目標は、イベント運用を想定した安定走行および遠隔操作の実現であり、曲線を含む走行環境の構築。遅延の少ない操作。安全な停止機構の確立を到達点とした。

2. 活動内容

本活動では、5インチゲージ車両の改良および線路の新規製作を行った。具体的な活動実績は以下の3点である。

- ① 通信の安定性の向上
- ② 物理ブレーキの搭載検討
- ③ 線路の新規製作

① 通信の安定性の向上

従来のシステムでは車載カメラから取得した映像を高画質の映像を基に遠隔操作を行っていた。しかし、この映像データの通信容量が大きく、限られた通信帯域を圧迫することで、操作信号の伝達に遅延が生じるという問題が発生していた。

特に、映像データは連続的に送信されるため通信負荷が高く、通信環境が不安定な場合にはTCP再送による遅延やパケットロスが発生し、安全性の低下の要因となっていた。

この課題に対し、本活動では通信品質の向上を単に帯域の拡張に依存するのではなく「通信データの最適化」という観点から改善を行った。具体的には、カメラ映像の解像度の調整を行い、必要以上に高精細な映像を送信しないようにすることで通信データ量の削減を図った。

通信データ量の削減効果を評価するためにテストを実施した結果、従来は約 3.75 MB/s であった通信量が、改善後には約 0.90 MB/s まで低減された。これは約 75%の削減に相当する。

この結果から、通信データの最適化が通信帯域の効率的利用に有効であることが確認された。また、通信負荷の低減により操作信号の遅延が抑制され、遠隔操作における応答性および安定性が大きく向上した。

さらに、操作に必要な情報を優先的に伝送するよう設計を見直すことで映像伝送と操作信号の競合を抑制し、応答性の向上を実現した。このように、システム全体における情報の流れを整理し、限られた通信資源を効率的に利用する構成とした。結果として操作入力から車両の応答までの遅延が低減され、リアルタイム性の高い遠隔操作が可能となった。これにより操作時の違和感が軽減され、イベント環境においても安定した運行を実現した。

また、本取り組みにより通信環境の変動に対しても影響を受けにくいシステムとなり、運用時の信頼性が向上した。



図1, 図2「おもしろ科学まつり 2025」での出展の様子(左)と刷新したシステムを使用した運転体験の様子(右)

② 物理ブレーキの搭載検討

イベント運用では不特定多数の来場者がミニ鉄道の運転操作に関与するため、予期せぬ操作やトラブルが発生する可能性が高い。そのため、迅速かつ確実に車両を停止させる仕組みが必要不可欠である。当初は、より高い制動性能を確保する手段として空気ブレーキの搭載を検討した。しかし、空気ブレーキの導入には台車構造の大幅な変更が必要となるほか、圧縮空気系統の設計・製作に関する専門的な技術の習得が求められることが検討段階で明らかとなった。さらに、これらの対応には多くの時間およびコストを要し、他の改良項目へのリソース配分に大きな影響を及ぼすことが懸念された。そのため、本ミッションにおいては空気ブレーキの導入を見送り、より短期間で実装可能かつ確実性の高い安全対策として、遠隔操作による非常停止機構の導入を優先した。この非常停止機構は、通常の制御系とは独立した系統として設計することで、通信トラブルや異常発生時においても確実に作動する構成とし、緊急時における安全性および運用時の信頼性の向上を実現した。

③ 線路の新規制作

曲線軌道の設計においては、走行時の安全性と設置環境への適応性の両立を考慮し、曲率半径を 4.4 m に設定した。曲線走行時に発生する遠心力 F は、車体重量 m 、速度 v 、曲線半径 r を用いて

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

から導出される。このことより遠心力と半径が比例関係にあるため、曲線走行時に生じる遠心力を抑え、車両の重心高さや速度に応じて発生する転倒および脱線のリスクを軽減し、安全性を向上させるために曲率半径の設定にあたってこれらの影響を十分に考慮する必要がある。

本車両は重心高さを約 15 cm としており、設計上の最高速度は 45 km/h と設定している。この条件においては、小さな曲率半径を採用した場合、遠心力による横方向の力が増大し、安全性の確保が困難となる可能性がある。

一方で、実際の運用においては直線区間の制約から走行速度は最大でも約 10 km/h 程度に制限されるが、安全設計の観点からは想定される最大条件に基づいて設計を行うことが望ましい。また、曲率半径を大きくしすぎると設置に必要なスペースが増大し、イベント会場におけるレイアウトの自由度が低下するという課題がある。以上の要因を総合的に考慮し、安全性と設営性のバランスが取れた値として曲率半径 4.4 m を採用した。



図3 追加した遠隔操作システムの画面



図4 曲線軌道を走行する車両

3. 活動の成果や学んだこと

本活動の結果、制御系および軌道設備の双方において改善が見られた。通信の最適化では、操作遅延が大幅に低減され、リアルタイム性の高い運転が可能となった。これにより操作時の違和感が軽減され、来場者にとって操作しやすいシステムとなった。また、曲線軌道の導入により従来は不可能であった曲線を組み込んだレイアウトや複雑な走行経路の構築が可能となり、体験コンテンツとしての魅力が向上した。曲線軌道の製作と並行して直線軌道の増産にも取り組んだことで走行距離が延び、試験走行を行う上での距離が確保されるなど実用性も向上した。安全面においては、非常停止機構の導入により、万が一の際の対応能力が向上し、運用時の信頼性が大きく改善された。

本ミッションを通じて得られた最大の知見は、「個別で改良を加えるのではなく全体を見通して改良を加えることが重要」という点である。通信、制御、軌道といった複数の要素は相互に影響し合うため、全体を俯瞰した設計が不可欠であることを実感した。



図5 アルミフレームをプレス機で曲げる様子



図6 曲線軌道の治具を製作する様子

4. 今後の展開

今後は、さらなる安全性の向上に向けた改良を行う予定である。ブレーキ機構については、制動距離が長いため、今年度搭載を断念した物理ブレーキの搭載、およびフェイルセーフ機構の構築が必要である。また、カメラ映像については、魚眼レンズによる視認性の課題があり、より適切な映像機材の導入が課題として挙げられている。その他にも今後の直線区間の延長に伴い曲線進入時の速度超過による安全性低下が懸念されるため、速度制御システムの導入が求められる。加えて、曲線軌道の運用においては、走行時の遠心力により軌道が移動する現象や、車輪と線路の接触による金属音の発生、さらに製作工程の煩雑さに起因する量産性の低さといった課題が明らかとなった。これらは構造設計および材料選定の観点から改善が求められる。

5. まとめ

本活動では通信の安定性向上、安全機構の強化、および軌道設備の拡張を目的として取り組んだ。その結果、操作遅延の低減、レイアウト自由度の向上、安全性の強化を実現し、イベント運用に適した鉄道システムを構築することができた。今年度の活動を通じて、ハードウェアとソフトウェアの両面を統合的に設計することの重要性を実感した。

今後も本成果を基盤として改良を継続し、より安全で魅力的な体験型鉄道システムの実現を目指す。