

プラレールスケール車両における架線集電導入の 実現可能性の検討

西村 鉄兵*、渡邊 大輝**、佐藤 壮真***、吉田 雅史****

A Study on the Feasibility of Overhead Current Collection in Plarail Vehicles

Tepei NISHIMURA, Taiki WATANABE, Soma SATO and Masafumi YOSHIDA

Abstract: In this study, an overhead current collection system using Plarail toy trains was developed for educational purposes and potential applications to model railway systems. A dual-mode rolling stock capable of both direct current (DC) and alternating current (AC) operation was designed, fabricated, and experimentally evaluated. An N-gauge rail was employed as the overhead contact wire, and a trolley wire-following mechanism was adopted for current collection. Two power supply methods were investigated: direct DC supply and AC supply with onboard rectification. Experimental results demonstrated that continuous operation was achievable under conditions of stable contact between the overhead line and the current collector. However, several challenges were identified, including contact instability due to the lightweight vehicle body, stopping at dead sections, and mechanical interference of the current collection mechanism. Future work will focus on improving the spring mechanism of the current collector and introducing onboard energy storage elements to enhance running stability.

Key words : Plarail, Overhead Current Collection, Dual AC/DC Operation, Small-Scale Model Railway, Engineering Education

1. はじめに

架線集電は、鉄道における電力供給方式として高速鉄道や都市鉄道を中心に広く採用されている。他方、玩具鉄道や簡易模型においては、構造の簡便さや安全性の観点から電池駆動方式が主流である。特にプラレールは低年齢層向け玩具として設計されており、外部給電を想定しない構造を有している。しかしながら、実際の鉄道と同様の給電方式を玩具規模で再現することは、子供の興味関心につながり鉄道工学や電気工学の教育的観点から意義があると考えられる。また、プラレールという限られたスペースにおいて架線集電を適用した場合の成立条件や課題を明らかにすることは、模型や小型移動体への応用にもつながる。

本研究では、プラレール車両に架線集電方式を導入し、直流

給電および交流給電(車体の中で整流)という2つの方式に対応している交直流プラレールを制作した。プラレール車両における架線集電の実現性と課題を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

2. 1 システム全体構成

本研究で構築した架線集電システムは、地上側給電装置、架線および集電機構、車上搭載回路の三要素から構成される。給電方式としては、直流給電方式および交流給電方式の二方式を採用し、いずれの方式にも対応可能な構成とした。以下では、地上側給電装置、架線および集電機構、車上搭載回路についてそれぞれ述べる。

2. 2 地上側給電装置

2. 2. 1 直流給電用地上装置

直流給電方式では、地上側に直流安定化電源を設置し、架線へ直接直流12Vを供給した。また、車両が架線と接触していない状態における電源への負荷を低減するため、1kΩの抵抗を

(2026年2月6日受理)

責任著者：吉田雅史

* 宇部工業高等専門学校 電気工学科 3年

** 宇部工業高等専門学校 電気工学科 4年

*** 宇部工業高等専門学校 電気工学科 1年

****宇部工業高等専門学校 電気工学科

回路に挿入した。本方式は地上側回路構成が簡易であり、電力損失が少ないという利点を有する。一方で、架線長が長くなると電圧降下が生じやすく、電源からの距離が増すにつれて車両に供給される電圧が低下する傾向が確認された。また、架線と集電機構の接触状態や極性の影響を直接受けやすいという特徴を有する。

2. 2. 2 交流給電用地上装置

交流給電方式では、地上側に交流電源を設置し、架線に $8V \cdot 60\text{Hz}$ の交流電圧を印加した。直流給電方式と同様に、車両が架線と接触していない状態における電源負荷を低減する目的で、 $1\text{ k}\Omega$ の抵抗を追加した。図 1 に交流電源回路の構成を示す。本交流電源は、直流安定化電源から得られた電圧をマイコン制御によりノコギリ波状の信号へ変換し、交流出力を生成する構成となっている。この方式により、架線の極性管理を不要とし、車両の進行方向に依存しない給電を可能とした。

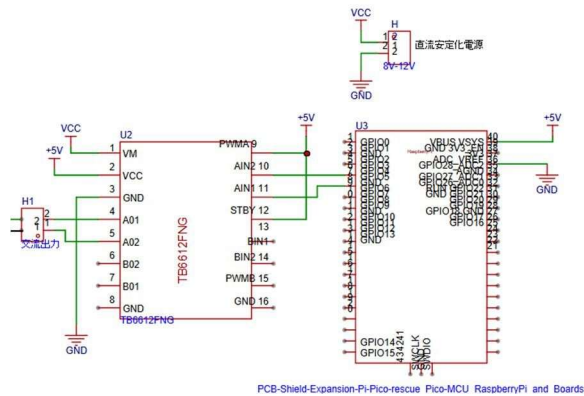


図 1: 交流電源の回路^{1,2)}.

2. 3 架線および集電機構

実際の画像を図 2 に示した。架線はレール上方に設置し、車両走行中に連続して接触可能な高さに調整した。車両上部には架線と接触する集電機構を設けた。実際の鉄道で使用されているパンタグラフでは、ばね性を持たせることで走行時の上下動や車体姿勢の変化に追従している。しかし、プラレール車両は小型であり、集電装置側に十分な伸縮性を持たせることが困難であった。そのため、ここでは集電装置側ではなく、トロリー線側に上下方向の可動性を持たせる構造を採用した。架線柱は自作し、竹ひごおよび細径の木棒を用いて製作した。トロリー線には N ゲージ用フレキシブルレールを使用することで、電圧の安定性と曲線区間における柔軟性を両立させた。また、レールには銅テープを貼付し、グランドとして使用した。



(a)



(b)



(c)

図 2: 車体と架線 (a)横、(b)斜め、(c)前.

2. 4 車体搭載装置

2. 4. 1 車体回路の基本設計

車体に搭載した回路を図3に示した。車体の回路は、速度制御用マイコン、マイコン用リチウムイオンバッテリー、整流用ダイオード、および直流モーターにより構成される。マイコンの電源については、架線集電による電圧変動が制御動作に影響を与える可能性を考慮し、架線給電とは独立した電源(リチウムイオンバッテリー)から給電する方式を採用した。直流モーターには、市販のプラレール車両に搭載されているモーターを使用した。

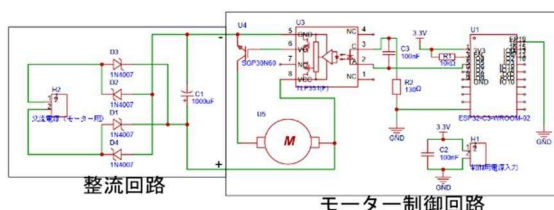


図3: 回路図(車体搭載).

2. 4. 2 直流給電方式における車上回路

直流給電時の回路を図4に示した。直流給電方式では、集電機構から得られた直流電圧を車上回路へ直接入力し、マイコン制御を介してモーターを駆動した。本方式では交流を扱わないため、整流回路に用いるダイオードは電氣的に影響を与えないが、交流給電方式との回路共通化のために搭載している。グラウンドについては、車両下部からブラシを設け、レールと接触させることで通電を行った。

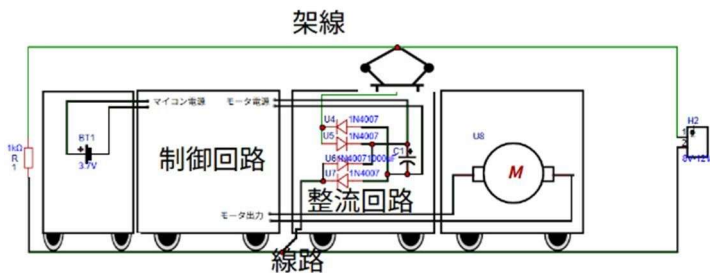


図4: 直流給電時の回路図.

2. 4. 3 交流給電方式における車上回路

交流給電時の回路を図5に示した。交流給電方式では、車両内に整流回路を搭載し、架線から供給された交流電圧を直流へ変換した。整流回路にはダイオードブリッジおよび平滑コンデンサを用いた。整流後の電圧を、マイコン制御を介してモーターへ供給した。グラウンドについては直流給電方式と同様に、車両下部のブラシを介してレールと接触させることで確保した。

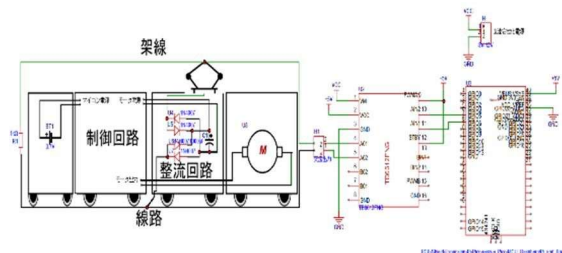


図5: 交流給電時の回路図.

2. 5 走行実験方法

実験線の画像を図6に示した。走行実験では、ベニヤ板2枚分(1.8x1.8m²)の大きさの実験用線路を作成した。線路には曲線および分岐を含め、実際の鉄道路線に近い構成とした。1周分の線路の中で直流給電方式と交流給電方式を半分の割合で組み立てた。そのため、線路上で給電方式を切り替えるセクション(交直デッドセクション)が存在する。直流給電方式では、架線に直流電源を接続し、集電機構を介して車両へ直接給電した。車両内部には簡易的な制御回路を配置し、モーターを駆動した。本方式は回路構成が単純であり、損失が少ない利点を有する一方、架線と集電機構の接触状態や極性の影響を直接受けやすい特徴がある。

本評価項目として、車両の走行可否、走行中の停止や失速の有無を観察した。また、給電方式ごとの架線集電の安定性を定性的に評価するとともに、電圧変化による走行速度の違いを確認した。



(a)



(b)

図6: 走行試験図;(a)走行試験の様子、(b)分岐器.

3. 結果

上記の評価項目を両給電方式にて試験したところ、いずれの方式においても、すべての評価項目にて良好であり、本集電機構の有用性をプラレールスケールの車両搭載実現可能性を実証できた。ただし、この結果は、架線と集電機構の接触が安定している場合に限定される。

走行中に車体が振動する場面やレールの継ぎ目付近では、給電が一時的に途切れ、車両が停止する事例が確認された。また、架線の上下方向の可動が十分に確保できない箇所では、集電機構がトロリー線に引っかかり、モーターが空転した後に車両が停車する現象が観察された。交直デッドセクションにおいては、無電区間を惰性走行のみで通過することが困難であり、途中で停止する事例が複数確認された。さらに、交直デッドセクション部のトロリー線構造により、集電機構が引っかかり、車両が停止する事案も確認された。これらの結果から、交直デッドセクションの通過および交直変換は、本システムにおける未解決の課題であることが明らかとなった。

4. 考察

本研究では、プラレール車両に架線集電方式を導入し、直流給電方式および交流給電方式の二方式について走行実験を行った。その結果、いずれの方式においても、架線と集電機構の接触が安定している条件下では車両の走行が可能であることが確認された。一方で、走行の安定性は電気的要因よりも、集電機構と架線の機械的な接触安定性に大きく依存することが明らかとなった。

4. 1 小型・軽量車両における架線集電の特性

実鉄道においては、車両質量が大きく、パンタグラフがばね機構によって架線に一定の押上力で接触するため、走行中の上下動や振動に対しても比較的安定した集電が可能である。これに対し、プラレール車両は小型かつ軽量であるため、走行時のわずかな振動や姿勢変化によって集電状態が大きく変化しやすい。また、実鉄道と異なり、レールに左右方向の遊びが存在するため、走行中に左右方向の揺れが生じ、架線と集電機構が安定して接触できないことも一因であると考えられる。これらの要因が、レール継ぎ目や曲線区間における給電断や停止の主因であると考えられる。本研究では、集電装置側に十分なばね性を持たせることが困難であったため、トロリー線側に可動性を持たせる構造を採用した。しかし、この構造では架線形状の不連続部において集電機構が引っかかりやすく、結果として走行安定性を低下させる要因となった。

今後の改善策としては、集電装置側に十分なばね性を持たせ、集電装置の伸縮性によって接触を安定させる構造へ移行することが有効であると考えられる。また、集電シューの幅を拡大することで、左右方向のずれが生じた場合でも確実に架線と接

触できるようにする余地がある。

4. 2 直流給電方式と交流給電方式の比較

直流給電方式は回路構成が簡易であり、電力変換を伴わないため損失が少ないという利点を有する。そのため、架線と集電機構の接触が安定している条件下では、比較的安定したモーター駆動が可能であった。一方で、架線の極性管理が必要であり、接触不良が発生した場合にはモーター出力が即座に低下するという特徴が確認された。また、架線長の増加に伴う電圧降下の影響を直接受けやすく、地上側電源からの距離によって走行速度にばらつきが生じた。

交流給電方式では、車上で整流を行うことにより、架線の極性を意識する必要がなく、車両の進行方向に依存しない給電が可能であった。この点は、玩具規模の線路構成や実験環境において大きな利点であるといえる。しかし、本研究で用いた構成では、整流回路による電圧降下および平滑不足の影響により、給電が一時的に途切れた際にモーター回転を維持できない場合が多く確認された。以上より、交流給電方式の課題は交流方式そのものに起因するというよりも、小型車両における車上電力処理能力の制約に起因するものであると考えられる。十分な電力平滑や一時的な蓄電機構を導入することで、交流給電方式は直流給電方式と同等、あるいはそれ以上の走行安定性を実現できる可能性を有している。

4. 3 交直デッドセクションにおける課題

交直デッドセクションでは、無電区間を惰性走行のみで通過することが困難であり、途中で停止する事例が多く確認された。これは、プラレール車両の質量が小さく、慣性力が不足していることに起因すると考えられる。さらに、デッドセクション部のトロリー線構造により、集電機構が引っかかりやすく、通過性を低下させている点も課題として挙げられる。実際の鉄道では、走行抵抗が小さいことによる惰性走行や、バッテリー等の補助電源を用いて無電区間を走行する機構により、デッドセクションの通過が可能となっている。本研究対象においても、車上への蓄電要素の導入や、レールの摩擦低減といった対策が有効であると考えられる。

4. 4 今後の改善点と展望

以上の考察より、プラレール車両に架線集電方式を適用するためには、集電機構の接触安定性の向上、車上における電力平滑・蓄電機構の導入、および交直デッドセクション通過性の改善が重要であることが示された。これらの課題が解決されれば、玩具規模でありながら実鉄道に近い給電方式を再現することが可能となり、鉄道工学および電気工学教育への応用が期待できる。さらに、より高度な玩具の提供につながり、新たなビジネス展開の可能性を持つと考えられる。

5. まとめ

本研究では、教育的意義および模型鉄道への応用を目的として、プラレール車両を対象とした架線集電システムを構築し、交直流両用車両の試作および走行検証を行った。架線には N ゲージ用レールを用い、集電機構にはトロリー線追従構造を採用した。給電方式としては、直流給電方式および交流給電方式（車上整流）の二方式について評価を行った。その結果、架線と集電機構の接触が安定している条件下において、連続走行が可能であることを確認した。一方で、車両の軽量性に起因する接触不良や、交直デッドセクション通過時の停止、集電装置の機械的引掛かりといった課題が明らかとなった。今後は、集電装置のばね機構の改良や、車上への蓄電要素の導入による走行安定性の向上が期待される。

※本研究は、本校の自主活動奨励事業「E-Project(鉄道研究)」令和7年度により助成を受けた研究成果の一部である。

謝辞

本研究は、宇部工業高等専門学校における学生自主活動奨励事業の支援を受けて実施されたものである。本事業を通じて研究活動のための研究費助成を賜り、実験装置の製作および検証を進めることができた。ここに深く感謝の意を表す。

また、本研究は E-Project「鉄道研究」の一環として実施さ

れたものであり、プロジェクト活動を通じて得られた知見や議論は、本研究の着想および発展に大きく寄与した。E-Project 関係者の皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Raspberry Pi Ltd., Raspberry Pi Pico Datasheet, <https://datasheets.raspberrypi.com/pico/pico-datasheet.pdf> 最終閲覧日: 2026年1月9日.
- 2) 東芝電子デバイス&ストレージ株式会社, TB6612FNG モータドライバ データシート, <https://toshiba.semicon-storage.com/jp/semiconductor/product/motor-driver-ics/brushed-dc-motor-driver-ics/detail.TB6612FNG.html>, 最終閲覧日: 2026年1月9日.
- 3) Espressif Systems, ESP32-C3-WROOM-02 Datasheet, https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3-wroom-02_datasheet_en.pdf 最終閲覧日: 2026年1月9日.
- 4) 東芝電子デバイス&ストレージ株式会社, TLP351 ゲートドライバ データシート, <https://toshiba.semicon-storage.com/jp/semiconductor/product/optoelectronics/detail.TLP351.html> 最終閲覧日: 2026年1月9日.