

令和 2 年 6 月 7 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06221

研究課題名(和文) 走行安定性と曲線通過性能を両立する傾斜軸自己操舵台車の車両編成解析

研究課題名(英文) Research of self-steering bogie with inclined wheel axles for improving running stability and curving performance

研究代表者

道辻 洋平 (Michitsuji, Yohei)

茨城大学・理工学研究科(工学野)・准教授

研究者番号：90376856

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、これまで提案してきた独立回転車輪を有する操舵台車の実現性を検討するため、車両運動解析と1/10スケールモデル走行装置を活用した実験を実施した。数値解析によって、提案する傾斜軸EEF台車のアタック角を低減でき、車輪・レール摩耗においても従来の鉄道車両台車より優位であることを示した。また、自己操舵性の付与に起因した自励振動に関しても、十分にその影響が小さく、適切なヨーダンバ減衰係数の設定により走行安定性を確保できることを確認した。低床路面電車車両を想定した3車体連節構造を有するスケールモデル走行装置を制作し、走行実験によって急曲線走行をさせ、アタック角が十分に低減できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自己操舵性能を付加した場合に発生する自励振動を抑えつつ、曲線通過性能を向上させるアイデアとして、傾斜軸EEF台車を提案していた。これまではアイデアベースであったが、車軸の傾斜角と踏面勾配、さらに左右車輪をつなぐリンクに設置したヨーダンバ減衰係数によって調整する手法を明らかにした点において学術的意義が大きい。都市部を走る路面電車に関して、車輪の摩耗や脱線の危険性を低減する、新たな操舵台車の具体的な構造を提案し、スケールモデル走行実験によって実証できた点において、社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：In this research project, both vehicle dynamics analysis and experiment with 1/10 scaled model vehicle had been conducted to clarify the effectiveness of the proposed steering bogie with I.R.W. From the result of multibody dynamics simulation, the bogie has enough anti-hunting stability while realizing ideal curving in sharp curves in terms of the angle of attacks, derailment coefficients and the wear between wheel and rail. A practical bogie structure of the proposed vehicle with articulated structure of vehicle bodies is considered while building a 1/10 scale model vehicle and track. The curving ability of the vehicle is demonstrated by the running tests in a sharp curve.

研究分野：機械力学，車両動力学

キーワード：鉄道車両 操舵台車 曲線通過性能 独立回転車輪

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、高速鉄道や LRV (次世代路面電車) が省エネの観点から世界的に注目され、わが国のみでなく世界各国の大学・研究機関・メーカーがその技術開発にしのぎを削っている。都市を走行する LRV には急曲線をスムーズに走行する性能が必要である。しかしながら、我が国に限ってみても依然として脱線事故が国内で発生するなど、曲線通過性能の課題は完全に解決されたとはいえない。鉄道車両台車の急曲線通過性能の改善には、車輪のアタック角をできるだけ零に近づけることが有効である。これを実現するためにさまざまな自己操舵台車、半強制操舵台車が提案されてきたがいずれも一長一短あり、半径十数メートルといった路面電車区間に実際に存在する急曲線に対し、アタック角を零近辺にとどめるような操舵台車は世界的に見て実用例がない。また、リンク機構を使って輪軸操舵する半強制操舵台車の実用例は多数あるが、従来台車より横圧低減は可能であっても、急曲線になるほどその効果は小さい。これは、車輪の横クリープ力はわずかなアタック角であっても飽和してしまう特性に起因している。

このような状況にあって、著者らは「傾斜軸 EEF 台車」を提案している。この台車の特徴は、車輪に付与した傾斜角と、踏面勾配という二つのパラメータによって、走行安定性と曲線通過性能の両立をはかるというものである。これまでは、数値シミュレーションによる基礎的検討にとどまっていたが、ここからさらに一歩前進し、実験装置を活用した実証が必要であった。また、鉄道車両用台車としては例のない、車輪に傾斜角を付与するため、構造的に台車構造が成り立つかも不明であった。ダイナミクスの観点からの有効性の検証と、実際の車両を想定した台車構造の具体化が研究開始当初の課題であった。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、これまで基礎的検討にとどまっていた傾斜軸 EEF 台車 (図 1) に関して、(1) 走行安定性の確認、(2) 実用的な車体構造の具体化、(3) 曲線通過性能の詳細検討、の 3 つを研究内容としている。以上の実施内容にそって研究を進めることで、これまでアイデア主体であった、傾斜軸 EEF 台車について、学術的な観点からダイナミクスを整理しつつ、車体構造を具体化することで、実用性も併せて検討することが本研究の目的である。

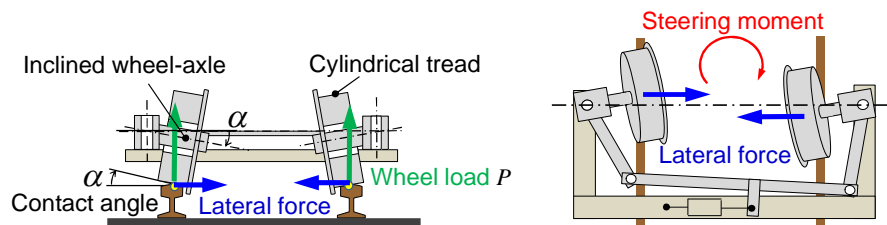


図 1 傾斜軸独立回転車輪台車 (傾斜軸 EEF 台車) のコンセプト

### 3. 研究の方法

本研究は、以下に示す 3 つの実施項目から構成される。

#### (1) 走行安定性の確認

傾斜軸 EEF 台車は独立回転車輪であるが、自己操舵性能を付与したことにより、輪軸のように自励振動が発生する。このメカニズムについては、これまでの研究により明らかとなったが、実際の車両を想定した場合、自励振動が不安定となる臨界走行速度の定量的な評価が未検討であった。そこで、実車想定車両運動モデルを構築し、自励振動を営業最高速度内で安定化するための車両パラメータを検討する。また、自励振動メカニズムについては実験的に未検討であったため、1/10 スケールモデルの軌条輪装置により走行安定性の検証実験を行う。

#### (2) 実用的な車体構造の具体化

1/10 スケールの連接構造を有する路面電車車両を制作し、これまではコンセプトベースであった台車構造を具体化する。特に今回制作する台車は、車輪に傾斜角を有し、左右の車輪をリンク機構で連結するため、車体の低床化を実現できるかどうか検討する必要がある。半径 1.5m (実車相当で 15m) の急曲線もあわせて制作し、その軌道上を走行させ台車の構造的課題を見いだす。

#### (3) 曲線通過性能の詳細検討

提案する傾斜軸 EEF 台車に対して、走行安定性を十分に有する設計条件下で、曲線半径 15m の条件にて曲線通過性能を数値解析によって詳細に評価する。評価項目として、アタック角、脱線係数に加え車輪・レール摩耗についても検討する。また、制作した連接一車両構造のスケールモデル走行装置を走行させ、曲線通過時の車輪操舵性能を確認する。

### 4. 研究成果

#### (1) 数値解析による曲線通過性能と走行安定性の検証 (図 2)

傾斜軸 EEF 台車について、マルチボディ・ダイナミクスソフトウェア (SIMPACK) を活用した走行シミュレーションを実施し、臨界走行安定性を検討した。これまで系を線形化した運動方程式に基づく安定性を定式化していたが、クリープ力の非線形性を考慮しても、十分な走行安定性を得ることができるパラメータの組み合わせを検討した。より具体的には、車軸の傾斜角により

自己操舵性能を高めることができ、踏面勾配とリンクに敷設したヨーダンパ減衰係数によって臨界走行速度を調整でき、最適なパラメータを検討した。また、スケールモデル軌条輪試験装置により、傾斜軸 EEF 台車は従来の輪軸に比べ自励振動が発生しにくいことも確認した。

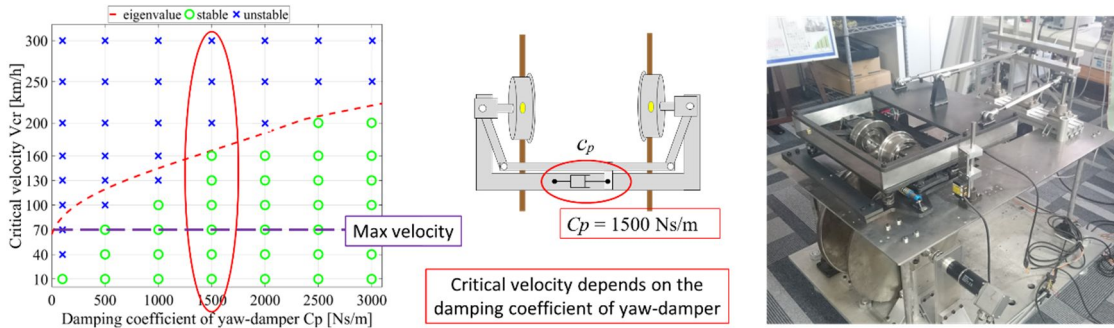


図2 実車スケール走行安定性解析（線形・非線形解析）の結果とスケールモデル軌条輪実験

(2) 実用的な車体構造の具体化（図3）

1/10 スケールの連接構造を有する車両を制作した。車両は3車体3台車からなる連接構造を有しており、車両の先頭台車が提案する傾斜軸 EEF 台車である。提案する台車においては特に低床車両を実現するための構造となっており、車輪の傾斜角を付与するための軸箱構造や、アッカーマンジオメトリを組み込んだ上にヨーダンパを設置した場合でも提案する傾斜軸 EEF 台車が、低床化を実現できる機構であることを示した。また軌道もあわせて制作し、急曲線を走行させ台車構造上の問題（例としてリンクの干渉、バックゲージ変化による車輪の脱輪等）がないことを確認した。

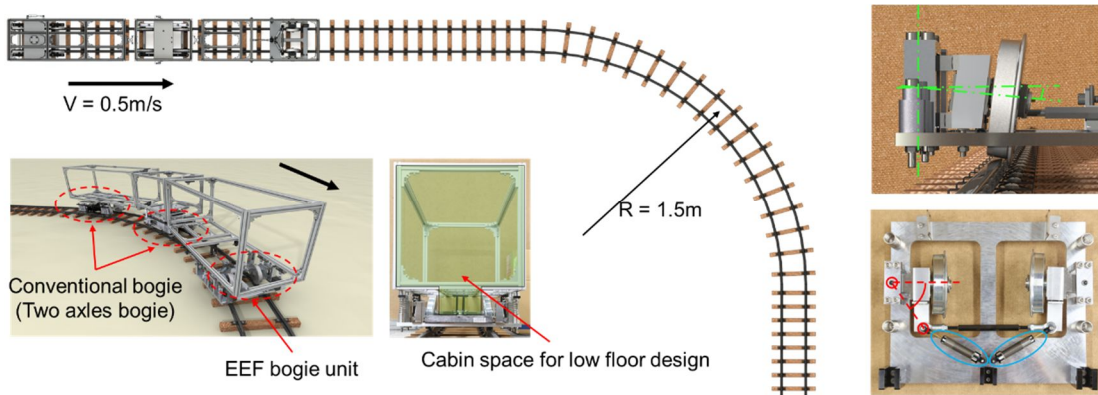


図3 スケールモデル車両の設計と台車構造の具体化

(3) 曲線通過性能の詳細検討（図4）

提案する傾斜軸 EEF 台車に対して、走行安定性を十分に有する設計条件下で、急曲線を通過する際のアタック角、脱線係数、車輪・レール摩耗指標の観点から、数値シミュレーションによって詳細に評価した。数値シミュレーション結果から、提案する台車は、脱線係数や摩耗の観点からも、従来の独立回転車輪を有する二軸台車に比べ顕著に優位であることが示された。また、スケールモデル走行実験を実施し、提案する台車は曲線進入開始直後から自律的な操舵が開始され、定常曲線においては、アタック角をほぼ零にできることを確認した。一方、緩和曲線中では、車輪の操舵遅れに起因したアタック角が発生しているため、過渡特性の改善が今後の課題である。

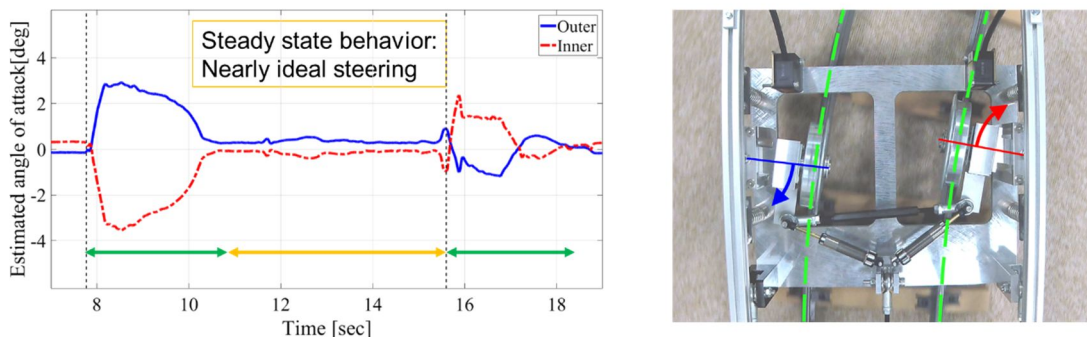


図4 曲線通過性能（1/10スケールモデル）のアタック角推定値と自己操舵の様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 水野浩平, 道辻洋平, 須田義大, 林世彬, 牧島信吾
2. 発表標題 スケールモデル走行実験による傾斜軸EEF台車の曲線通過性能の評価
3. 学会等名 日本機械学会第27回交通・物流部門大会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kohei Mizuno, Yohei MICHITSUJI, Yoshihiro SUDA, Shihpin LIN, Shingo MAKISHIMA
2. 発表標題 Running performance of EEF bogie with inclined wheel axles
3. 学会等名 Railways2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水野浩平, 道辻洋平, 須田義大, 林世彬, 牧島信吾
2. 発表標題 傾斜軸EEF台車の曲線通過性能の評価
3. 学会等名 日本機械学会D&D2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水野浩平, 道辻洋平, 須田義大, 林世彬, 牧島信吾
2. 発表標題 傾斜軸EEF台車の曲線通過性能と車輪・レール摩耗特性の基礎的評価
3. 学会等名 日本機械学会交通・物流部門大会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yohei Michitsuji, Kohei Mizuno, Yoshihiro Suda, Shihpin Lin, Shingo Makishima
2. 発表標題 Curving performance evaluation of EEF bogie with inclined wheel axles using scale model vehicle
3. 学会等名 IAVSD2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前原奨, 道辻洋平, 須田義大
2. 発表標題 傾斜軸EEF台車のアクティブ操舵制御
3. 学会等名 JRAIL2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考