

マルチボディダイナミクスを用いたライトレール車両の運動に関する研究

日大生産工（院）	○柳川 航一	日大生産工	綱島 均
日大生産工	丸茂 喜高	交通研	松本 陽
交通研	佐藤 安弘	交通研	大野 寛之

1. はじめに

ライトレール車両（LRV: Light Rail Vehicle）は、独立車輪台車やフローティング車両の導入による車内の低床化や、弾性車輪の採用による低騒音化など、一般の鉄道車両とは異なる技術が採用されている特徴を持つ車両である。国内においても、新規路線の計画や既存の路面電車の設備改良の一環として導入が進められている。しかし、国内ではLRVの歴史が浅いことから運用データが少ないこと、また欧米とは軌道や運用の環境が異なることにより、事故やトラブルが発生した際の原因究明のための研究が必要である。そこで、運用環境下での走行データの収集が行われている¹⁾が、実車実験には安全面や実験回数に限界がある。また、新規路線やLRV導入の計画段階で、安全性の検討を行う事前検討としては不十分な面もある。これらの課題に対し、運動シミュレーションを用いた検討が有効であると考えられるが、車両構成や台車構造が一般の鉄道車両と異なることから、従来の一般的な鉄道車両のモデルでは、模擬が難しい場合があると考えられる。そこで、新たにLRVの車両特性を考慮した車両モデルを構築する必要があると考える。本研究では低床LRVを対

象とし、車両運動の検討を行う目的で、マルチボディダイナミクスを用い、LRVモデルを構築し、車両運動解析を行う。本稿では、独立回転車輪を採用する低床LRVを対象とした車両モデルを構築し、曲線通過シミュレーションを行い、実車測定結果との比較を行ったので報告する。

2. モデル概要

車両モデルの構築には、マルチボディソフトSIMPACK²⁾を用いた。車両モデルの主要諸元を表1、概要を図3に示す。対象車両は、国内で複数の事業者が採用する、2車体2台車の100%低床連接車とした。当該車両の特徴として、低床化のために独立回転車輪を用いたことが挙げられる。独立回転車輪は、一般鉄道の分野で、フリーゲージトレインや曲線通過性能の向上³⁾の目的で採用・検討が進められている台車であるが、LRVにおいては、車軸をなくすことで床下に客室を広げ、低床化を実現する方法として、多くの採用例がある。

対象車両の台車は、連結器側の車輪が動力を伝達する動輪、運転席側が動力のない従輪で構成される。



図1. ライトレール車両

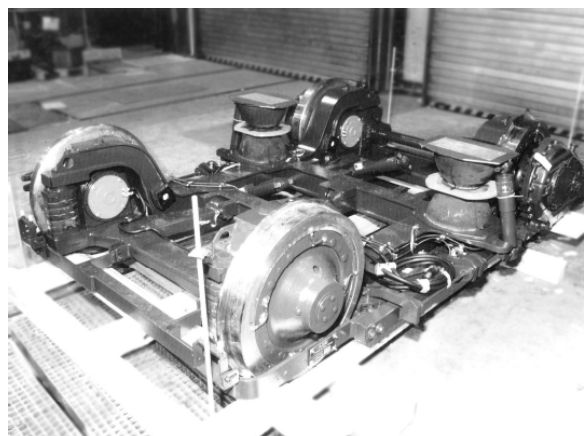


図2. 独立回転車輪台車

Dynamic Analysis of Light Rail Vehicles by Multibody Dynamics

Koichi YANAGAWA, Hitoshi TSUNASHIMA, Yoshitaka MARUMO, Akira MATSUMOTO, Yasuhiro SATO and Hiroyuki OHNO

左右の動輪は歯車とシャフトで連結され、左右輪は連動して回転し、1つのモータにより駆動される、左右の従輪は連結されず、左右輪の回転は完全に独立している。また、台車と車体が接続する枕ばね位置は、台車中心より動輪側にオフセットされている。これにより従輪に比べ動輪により多くの荷重をかけ、粘着力の向上を図る構造となっている⁴⁾。これらの特徴を模擬し構築した台車モデルの概観を図4に示す。車両は1車両につき1台車で構成される。連接部は、ヨー方向にのみ回転し、ピッチ方向・ロール方向には回転しない構造とした。また、対象車両同様に、各台車・車体間にはヨーダンパを取り付けた。構築した1編成モデルの概観を図5に示す。

3. 曲線通過シミュレーション

構築したモデルの特性を確認する目的で、曲線通過シミュレーションを行った。軌道は、緩和曲線長25m、カント60mm、スラック0の曲線軌道で、曲率半径R200からR600の範囲で100m刻みで変更したものを設定し、それぞれを時速30kmで通過させた。シミュレーションによって得られた第1軸の脱線係数を図6、第3軸の脱線係数を図7に示す。第1軸、第3軸は共に台車前側の車輪にあたる。脱線係数は横圧を輪重で除した値で、一般に脱線に対する走行安全性の評価指標として用いられる。

シミュレーション結果から、全般的に動輪の第3軸より従輪の第1軸の脱線係数が大きいことがわかる。これは、動輪に比べ従輪の輪重が低いこと、左右輪が独立して回転する場合に復元力が発生しないため、曲線半径が小さくなるとフランジ・レール間の接触到って操舵することにより、横圧の上昇率が大きくなることなどが原因と考えられる。これら、従輪と動輪のシミュレーション結果の差異から、独立回転車輪台車の特徴がモデルに反映されていることを確認した。

4. 計測値との比較

モデルの妥当性を検討する目的で、地上計測値との比較を行った。曲線軌道は、モデル対象車両により過去に車上計測が行われた⁵⁾実在の軌道を想定した。設定した軌道条件を図12に示す。計測時の通過速度を考慮し、通過速度を10km/hから40km/hまで、5km/h毎に設定し、シミュレーションを行っ

表 1. モデル主要諸元

Vehicle configuration	2 cars, 2 bogies, 100% low floor vehicle		
Car body	Length	9200	mm
	Breadth	2400	mm
	Height	3407	mm
	Distance between bogie centers	8600	mm
	Weight	9500	kg
Bogie	Gauge	1067	mm
	Wheel diameter	660	mm
	Wheelbase	1850	mm
	Weight	3050	kg
Maximum speed		60	km/h

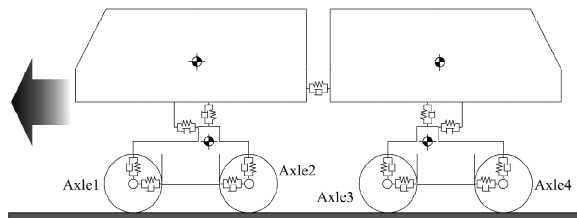


図 3. モデル概要

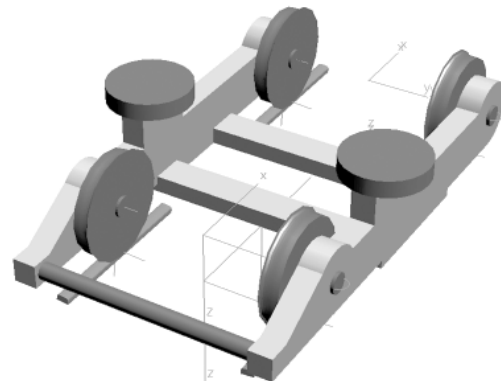


図 4. 独立回転車輪台車モデル

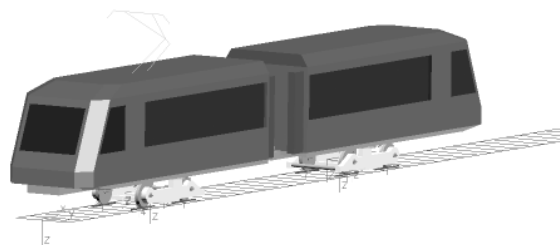


図 5. 車両モデル

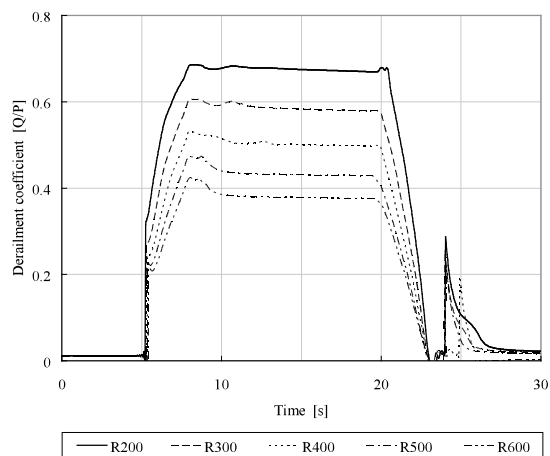


図 6. シミュレーション結果 (第 1 軸)

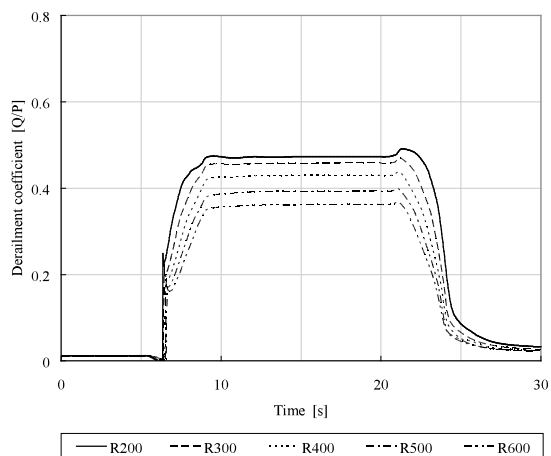


図 7. シミュレーション結果 (第 3 軸)

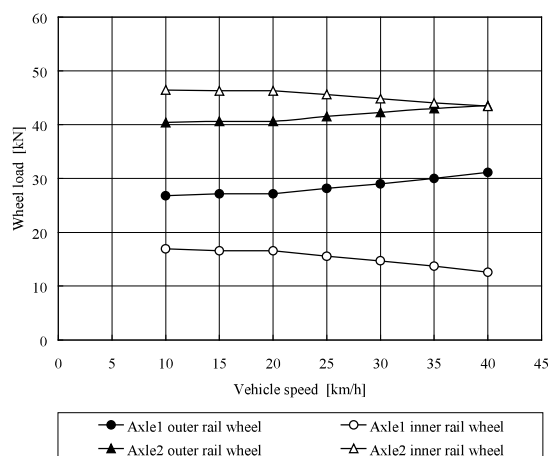


図 8. シミュレーション結果 (輪重)

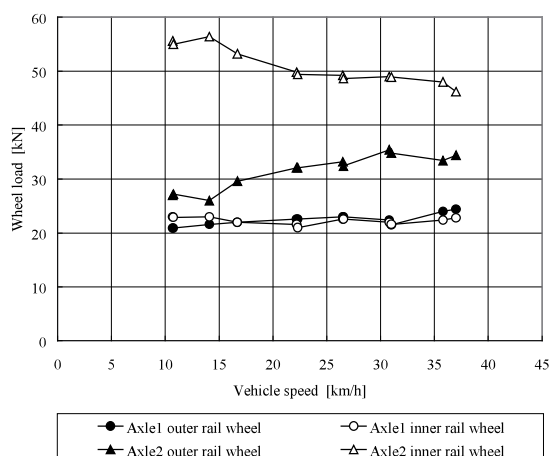


図 9. 計測結果 (輪重)

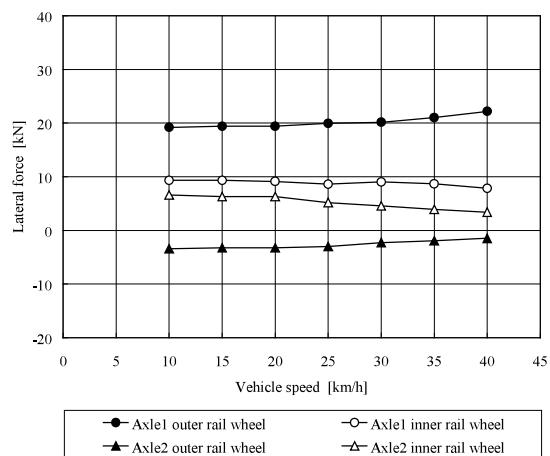


図 10. シミュレーション結果 (横圧)

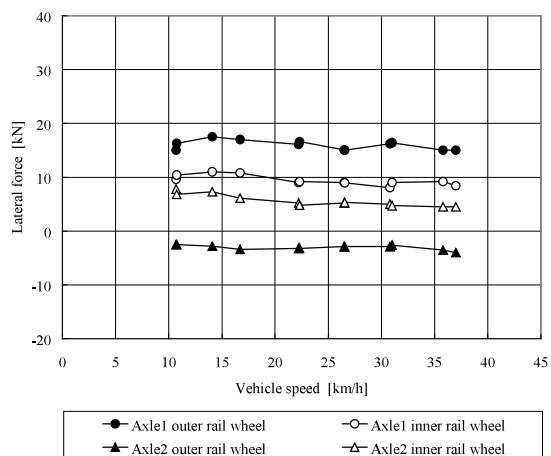


図 11. 計測結果 (横圧)

た、シミュレーション時の先頭車両の輪重・横圧の推移を図8、図10に、地上計測時の輪重・横圧の推移を図9、図11に示す。シミュレーション結果と地上計測結果を比較すると、絶対値はやや異なる点もあるが、各車輪における横圧、輪重の大小関係、速度に対する輪重、横圧の変化傾向が類似していることがわかる。図13は同軌道を30km/hでシミュレーション走行させた際の1軸、2軸の外軌側脱線係数の時系列の推移を示したものである。両軸共に0.6以内で推移している。1軸は曲線終了後も外軌側に偏り走行し、横圧が残る独立回転車輪特有の傾向が確認できた。また、両軸とも曲線終了時に脱線係数が上昇している。これは、曲線終盤に後位車両が前位車両を押し出す格好となる本車両の構造に起因するものと考えられる。

5. まとめ

独立回転車輪を採用した低床 LRV の車両モデルを構築し、曲線通過シミュレーションにより、車両構造に起因する特徴を確認した。また実車測定結果との比較を行い、各軸の出力値や値の変動について確認した。今後は、車輪レール間接触に関わる各パラメータの詳細検討のほか、車内計測結果との比較検討により床上振動や乗り心地に関する検討などを行い、走行安全性に関する事前評価に向け、データの蓄積を行っていく。また、車上のセンサより、軌道や車両の異常を推定し検知する⁶⁾コンディションモニタリングの予備検討として、マルチボディモデルを用いたシミュレーションによるセンサ配置や推定アルゴリズムの評価の有効性について検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 佐藤，松本，大野，水間，緒方，低床式 LRV の走行安定性についての研究，鉄道車両と技術 No.120，2006
- 2) Schupp ほ か，Multibody System Simulation of Railway Vehicles with SIMPACK，Vehicle System Dynamics Supplement 31，(1999) pp101-109
- 3) 齊藤，谷藤，独立車輪車両の操舵方式による曲線通過性能の比較，第11回交通・物流部門大会，日本機械学会，(2002.12) 1209

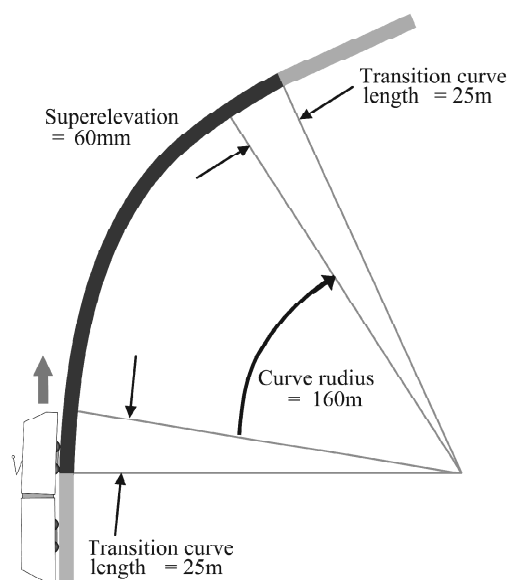


図12. 曲線軌道

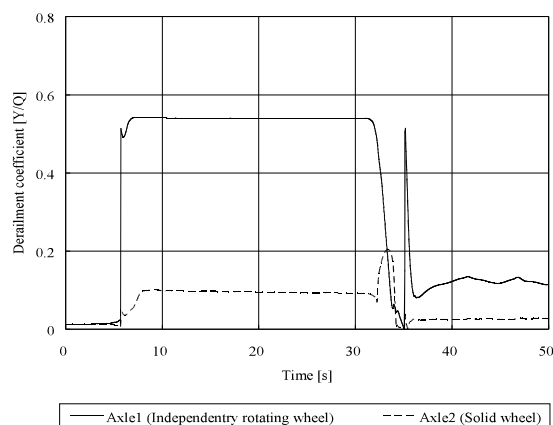


図13. シミュレーション結果 (30km/h)

- 4) 日本機械学会編，鉄道車両のダイナミクス～最新の台車テクノロジー～，電気車研究会，(1994) 96-98
- 5) 佐藤，大野，松本，LRT における車両と軌道の適合性について，平成17年度交通安全環境研究所発表会 講演概要，(2005.11)
- 6) Hayashi, Tsunashima, Marumo, Fault Detection of Railway Vehicle Using Multiple Model Approach, SICE-ICCAS International Joint Conference 2006, SICE, ICCAS, (2006.10) FA19-1