

S4-1-8

LRV 独立回転車輪台車の走行特性向上に関する研究

○藤野 進 (明星大学(院)) [機]宮本 昌幸 (明星大学) 青木 稔尚 (明星大学)

Study on Improvement of the Running Performance of Light Rail Vehicle with Independently Rotating Wheelset

Susumu FUJINO (Meisei University)

Masayuki MIYAMOTO, Member (Meisei University) Toshinao AOKI (Meisei University)

Recently, a tramcar is improved from a viewpoint of barrier-free, environmental protection, and new city planning, LRT (Light Rail Transit) is observed as a transit system of a new generation, and LRV (Light Rail Vehicle) has been introduced in various cities. In LRV, in order to make it a low floor over the whole vehicles, an independently rotating wheel truck is used and in order to pass a curve with a small radius, it is constituted the articulated structure which used the floating body. Moreover, in LRT, since a tramcar drives into a railroad line, various subjects which experienced not in railroad vehicles used now are considered. Since we performed the vehicle dynamic simulation on the computer using SIMPACK of Intec which is one of the multi-body software, in order to grasp the fundamental dynamic characteristic of LRV based on them, we report the result.

キーワード: LRV, 独立回転車輪, 連接車両, マルチボディ・ソフトウェア, シミュレーション

Keywords: Light Rail Vehicle, Independently Rotating Wheel, Articulated Vehicle, Multi -Body Software, Simulation

1. はじめに

近年, バリアフリーや環境保護, 新たな街づくりの観点から路面電車が見直され, 新時代の交通システムとして LRT (Light Rail Transit) が注目され, 様々な都市で LRV (Light Rail Vehicle) が導入されてきた。

LRV では全車両にわたって低床にするために独立回転車輪台車を用いたり, 急曲線の通過のために連接構造によってフローティング車体を用いたりするなど特殊な構造がとられている。

また, LRT では軌道線と鉄道線の直通運転を行う例があり, 併用軌道区間と新設軌道区間で溝付レールや通常レールの違いによる車輪とレールの接触の違い, 急曲線での低速走行と直線での高速走行の両立など, これまでの鉄道車両ではなかった課題が考えられている。

既に, LRV の走行試験結果や課題, 曲線通過シミュレーション結果についての発表がなされているが^{(1),(2),(5)}, 上記の環境での LRV 特有の走行安全性, 運動特性に踏み込んだものについては, 公表されたものはない。

本研究では, それらを踏まえた LRV の基本的な走行特性を把握するために, マルチボディ・ソフトウェアのひとつである Intec 社の SIMPACK を用いた計算機上での走行シミュレーションを行った。

2. シミュレーション

2.1 車両モデル

車両モデルとして, 両先頭車両に 4 輪独立回転車輪台車があり, 中間車両は台車のないフローティング車体とし, 中間車両と両先頭車両の間は上下の連接装置で連結された, 3 車体 2 台車の連接車両モデルを構築した。

連接部分はヨーイング方向のみに回転自由で, ローリングやピッチングの運動に対しては台車のばねで対応するようにした。

モデルの諸元を Table.1 に, 概略を Fig.1 に示す。

Table.1 Basic Specification

Vehicle Length	18.6m
Vehicle Weight	20.6t
Wheel Diameter	600mm
Tread Gradient	1/20
Gauge	1,435mm
Flange angle	72deg.
Flange Height	23mm
Back gauge	1,362mm
Wheel base	1,800mm
Distance of Bogie Centers	11.4m

質点系は車体, 台車, 輪軸で構成され, 自由度は車体が 6 自由度, 台車が 6 自由度, 車輪が 4 自由度を考慮し, 計 62 自

由度となっている。

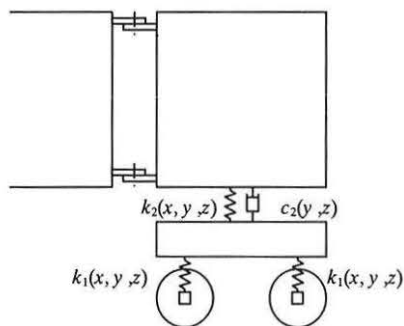
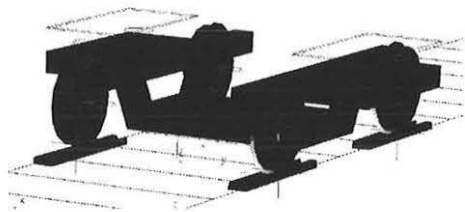
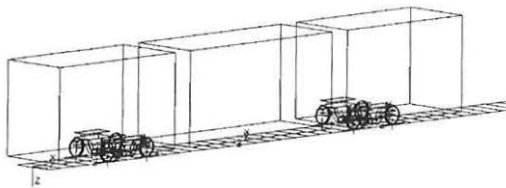


Fig.1 LRV Model on Simulation

2.2 使用したレール

レールは 50kgN レールと、Fig.2 に示すように 50kgN レールにガイドを取り付けた形状の 2 種類を用いた。

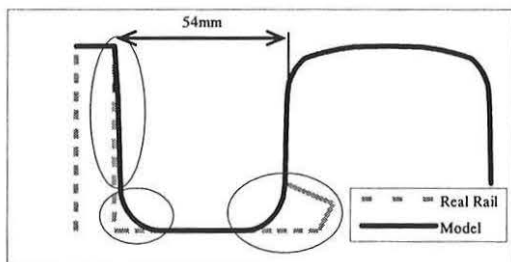


Fig.2 Rail Profile (50kgN Rail with guide rail)

本来は破線のような形状であるが、レールと車輪間の接触力計算を正常に行わせるために、レールが車輪と接触しない形状を削除し、ガイド部のように垂直な部分はわずかに勾配を付加した、実線のような形状とした。

2.3 計算法

レールと車輪の接触力の算出には SIMPACK の標準的な手法を用いた。

接触位置の判定には、接触位置の変化を平滑化する擬似弾性接触を用い、車輪とレールの接触が最大 3 点まで考慮できる多点接触を用いた。

法線力の算出には接触点での法線方向の相対距離がゼロとなる拘束接触と呼ばれる手法、クリープ力の算出にはカルカーの非線形理論に基づいた FATSIM アルゴリズムを用いて行った。

3. シミュレーション条件

3.1 直線走行シミュレーション

前述した車両モデルを用いて、50kgN レールによる 2,500m の直線を、10km/h、20km/h、40km/h、80km/h と 4 種類の速度にて走行させた。

3.2 曲線通過シミュレーション

同じモデルを用いて、曲線の通過シミュレーションを行った。Table.2 に、軌道線形を示す。

Table.2 Truck Specification

Curve Radius	300m	75m
Transition Length	90m	5m
Vehicle Speed	44km/h	10km/h
Superelevation	71mm	15mm

半径 300m は鉄道線、半径 75m は軌道線での走行を想定しており、半径 300m では 50kgN レール、半径 75m ではガイドなしレールとガイド付レールを用いて両者の比較を行った。

走行速度は、曲線通過時にカント量と超過遠心加速度が釣り合う速度とした。

4. 結果と考察

4.1 直線走行シミュレーション

まず、モデルの作成が正常に出来ているかを確認するために、直線軌道を走行するシミュレーションを行った。

輪重、横圧ともに一定で左右でバランスが取れたため、車両モデルは正常に作成されていると考えられる。

4.2 車輪とレールの接触

車輪とレールの接触状況を Fig.3 示す。左がガイド付レールで、右がガイドなしでの接触状況である。

この図では、線で結ばれた点同士が接触していることを表しており、この図は 1 点のみでの接触を考慮した図になっている。

ガイド付レールではフランジ裏側とガイドの接触も考慮されており、実際のシミュレーションではフランジ裏側と踏面が同時

に接触するような 2 点以上の接触も考慮されている。

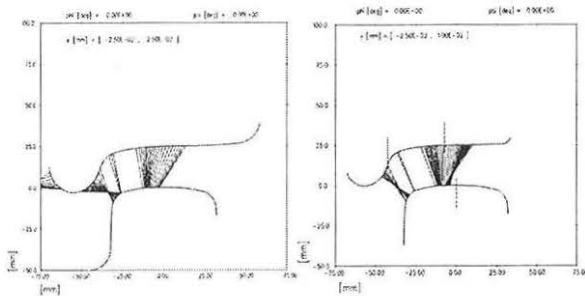
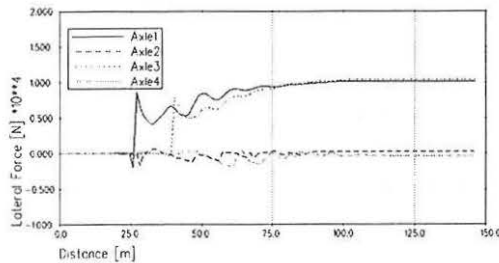


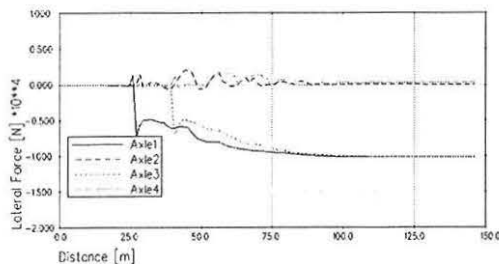
Fig.3 Wheel-Rail contact point

4.3 曲線通過シミュレーション

曲線半径 300m でのシミュレーション結果を Fig.4 に示す。



(a) Outside Wheel



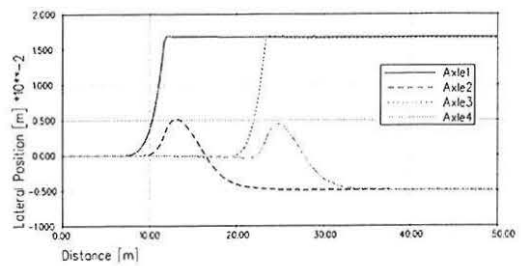
(b) Inside Wheel

Fig.4 Simulation results of Lateral Force (R=300m)

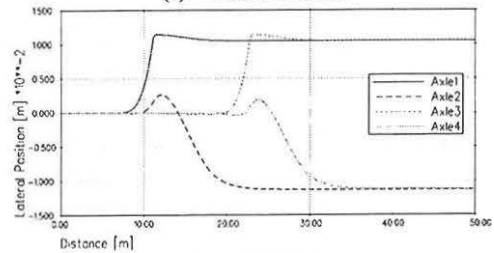
各台車の前軸は緩和曲線進入時にフランジ接触し、急激に横圧が増大する。後軸側は若干の変動はあるものの、ほぼ 0 で推移している。

次に、ガイドレールとの接触を確認するために、軌道条件を曲線半径 75m, カント量 15mm, 速度を 10km/h とし、レールとしてガイドなしとガイド付きの 2 種類用いたシミュレーションを行った。

Fig.5 に示すように、ガイドなしの場合では輪軸の左右変位は、前軸が外軌側に約 16mm, 後軸が内軌側に約 5mm となり、ガイド付きの場合では前軸が外軌側に約 11mm, 後軸が内軌側に約 11mm となった。このことより、ガイドガイドレールによる影響を受けていることが見て取れる。



(a) without Guide

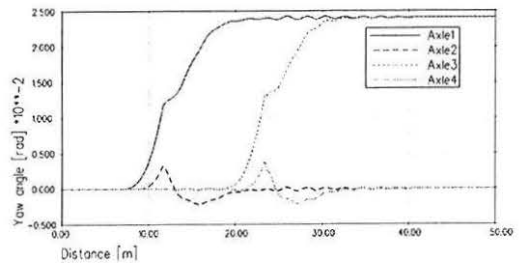


(b) with Guide

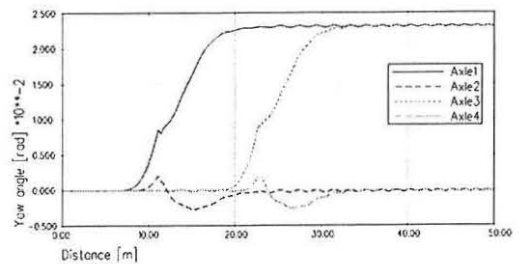
Fig.5 Simulation results of Lateral Position of Wheelset (R=75m)

また、アタック角の変化を Fig.6 に示した。

ガイドの有無に関わらず、前軸のアタック角は約 0.023~0.024rad(1.3~1.4 度)となっており、後軸側も緩和曲線進入時にアタック角が大きくなるがすぐに 0 になり、走行中の角度の変化はほとんど変わらない。



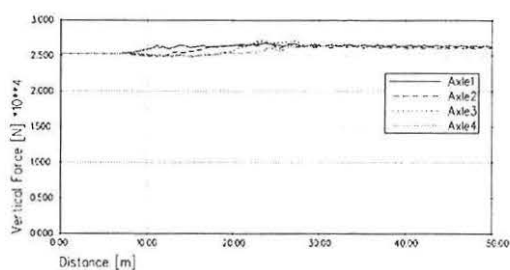
(a) without Guide



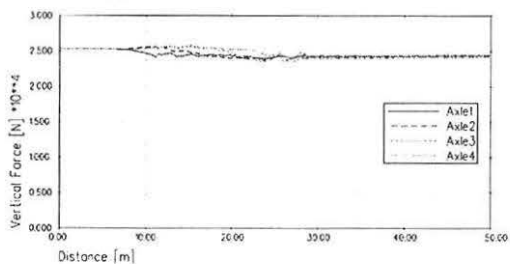
(b) with Guide

Fig.6 Simulation results of Attack Angle of Wheelset (R=75m)

ガイド付きの場合の各車輪の輪重の変化を Fig.7 に示す。緩和曲線進入時に、外軌側の輪重が若干大きくなり、内軌側の輪重が若干小さくなっていることがわかる。この傾向は、ガイドの有無に関わらない。



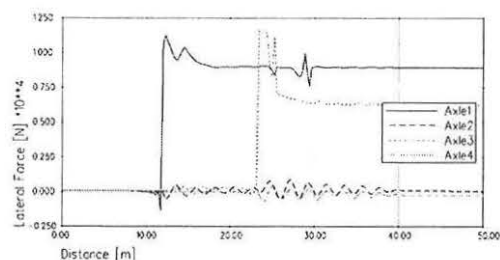
(a) Outside Wheel (with Guide)



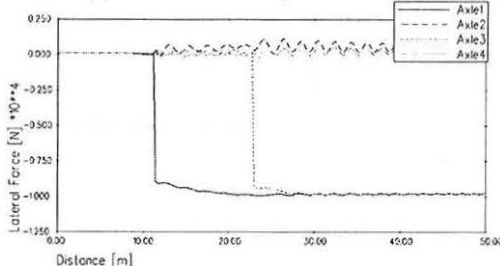
(b) Inside Wheel (with Guide)

Fig.7 Simulation results of Vertical Force (R=75m)

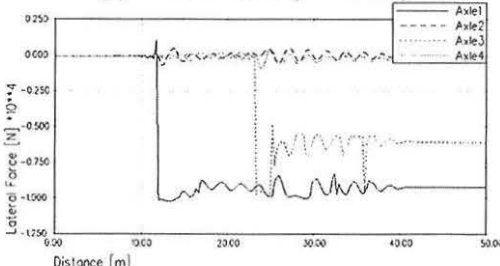
ガイドなしレールとガイド付きレールでの横圧の変化を Fig.8 に示す。



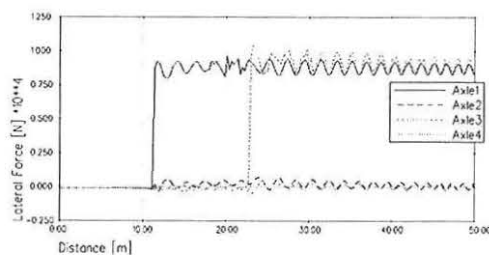
(a) Outside Wheel (without Guide)



(b) Outside Wheel (with Guide)



(c) Inside Wheel (without Guide)



(d) Inside Wheel (with Guide)

Fig.8 Simulation results of Lateral Force (R=75m)

両者を比較すると、第1軸と第3軸の横圧の発生する方向が逆転している。これは、車輪裏側がガイドレールに接触することにより、逆向きの力が発生しているからではないかと考えられる。

5. まとめ

マルチボディ・ソフトウェアでの LRV の走行シミュレーションを行い、LRT の特徴であるガイド付レールの有無を考慮した基本的な走行特性について、横圧の発生する方向が逆転し、ガイドレールからの力の影響を受けることについて、ある程度確認することが出来た。

現時点では、曲線半径が 75m までのシミュレーションとなっており、今後 20m 程度まで曲線半径を小さくしてシミュレーションを行う必要がある。また、計算の精度が十分であるかを確認することも必要であると考えられる。

今後は、これらの結果を基に、スケールモデルによる走行実験、広島電鉄の 5100 形“グリーンムーバーmax”に代表される、前後の車輪の回転数が同じになるような構造での駆動力を考慮した場合や、実際の軌道などのパラメータを用いた詳細なシミュレーション、実車による走行実験などを行いながら、シミュレーションの精度を上げ、走行特性の向上や脱線などの安全性に関する検討を行っていきたい。

謝辞

SIMPACK でのシミュレーションに関してご教示いただいた、アルテアエンジニアリング株式会社の島田様に感謝致します。

参考文献

- (1) 須田ほか、LRT 車両の曲線通過性能、日本機械学会第 8 回交通・物流部門大会講演論文集、(1999)、211-214
- (2) 河野ほか、マルチボディ・ダイナミクスを用いた鉄道車両の急曲線通過性能評価、日本機械学会第 11 回交通・物流部門大会講演論文集、(2002)、193-194
- (3) SIMPACK Reference Guide, Intec GmbH, (2004)
- (4) 松井、車両運動のシミュレーション技術、鉄道車両と技術、Vol.11-1、(2005)、19-24、レールアンドテック出版
- (5) 松本ほか、超低床式ライトレールの導入と安全性に係わる留意点ー軌道線と鉄道線の考え方の差異ー、日本鉄道技術協会 JREA、Vol.48-7、(2005)、16-20