低床電池駆動 LRV「SWIMO®」の運動解析

○江崎 秀明 [機]東 成昭 [機]河野 行伸

奥 保政 松木 信哉 橘 勝 釜谷 淳二 秋山 悟 平嶋 利行 (川崎重工)

Dynamic Simulation of Low Floor, Battery-Powered LRV "SWIMO®"

O Hideaki Ezaki, Masaaki Higashi, Yukinobu Kohno, Yasumasa Oku, Shinya Matsuki, Masaru Tachibana, Junji Kamatani, Satoru Akiyama, Toshiyuki Hirashima (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.)

Kawasaki Heavy Industries developed a next-generation low-floor LRV (Light Rail Vehicle) "SWIMO®" which is powered by Ni·MH battery "GIGACELL®". Dynamic simulations were performed to confirm the safety and a unique coupler structure is developed to improve the performance. The simulation model is validated by running tests on Kawasaki's Harima Experimental Line. Moreover this paper proposes the extension of the method to evaluate the safety against flange climbing to extremely sharp curves of track.

キーワード: LRV, 運動解析, 曲線通過, 安全性

Key Words: LRV (Light Rail Vehicle), Dynamic Simulation, Curving, Safety

1. はじめに

川崎重工は車載用ニッケル水素電池「ギガセル®」を搭載 した次世代型低床電池駆動 LRV「SWIMO®」を開発した ¹⁾.本開発においては、走行安全性の確認のため、運動解 析による検証を行った。

SWIMO は両端 A, B 車の運転台部分を除く客室部全体 を低床化した上で,座席の下にギガセルを積載する(図 1). このため台車は,通常サイズの駆動軸と低床部に設けられ た独立回転の小径車輪とを組み合わせた先端台車と,全軸 独立車輪方式の中間台車により構成される.

2. 運動解析の設計への反映

安全性・乗り心地を評価するため、車両運動モデルを MATLAB/Simulink によって構築し(図 2), ばね系の設計 に活用した.運動解析にあたっては、急曲線通過、車体構 造など SWIMO の特徴を考慮した.

SWIMOは3車体3台車の連節構造であり、通常のボギ ー車と比較して、車体・台車運動モード間の連成が複雑と なる.したがって、望ましい運動特性を得るには、台車単 体だけでなく、編成全体にわたってばね・ダンパの配置と 諸元の最適化を図る必要がある.

例えば曲線通過において、ボギー車であれば、遠心力に よる車体ロールモーメントを前後の台車でほぼ均等に負担 できるのに対し、連節構造の場合、特定の台車にモーメン ト負担が偏る可能性がある.これに起因する輪重抜けを抑 制するため、SWIMOではばねとダンパを並列に組み込ん だ棒状の「車体間アンチロールばねダンパ」を開発し、こ れを屋根上に2本並列で上から見てX字に配置した.図3 に運動解析による効果検証例を示す.従来からの連結構造 として一般的な,床部のみ,または床部と屋根部に球面軸 受状の連結器を設置する場合でも安全性に問題はないが, 本構造を採用することで各台車のロールモーメント負担が 平準化され,輪重抜け率の余裕が増加する.



図1 SWIMOの車体構造



図2 モデリング画面・アニメーション画面



図3 車体間アンチロールばねダンパによる輪重抜け抑制

3. 推定脱線係数比

路面軌道特有の半径 30m を下回るような急曲線通過に 対しては、シミュレーションと並行して、推定脱線係数比 によって安全性を確認した.

ところで,現行の推定脱線係数比²⁾(以下「現行方式」) の計算式では,主に前軸内外軌の横クリープ力に着目して 推定横圧を求めるため,独立車輪台車と串軸台車とは特に 区別されない.一方,一般に独立車輪台車は串軸台車より も曲線通過がスムーズであることが知られている.これは 串軸が急曲線を通過する場合,内外軌レールの長の差を踏 面勾配で吸収できず,縦クリープ力が台車の旋回と反対方 向に作用する,いわゆる逆ステアリング現象(図 4)の影響が 大きいためと考えられる.

そのため、串軸の場合、急曲線でフランジ当たりが発生 する前軸外軌側と後軸内軌側の接触点で逆ステアリングモ ーメントと釣り合う横圧が発生するものとし、これを横圧 推定式に加味することとした.図4に示すように、接触点 に発生する飽和摩擦力の縦・横クリープ力への分配比を、 所定の範囲で変化させて推定脱線係数比を計算し、その最 小値を採用した.このため、提案方式では実際よりもやや 厳しめの推定脱線係数比が得られると推測される.また、 独立車輪では横クリープ力は飽和摩擦力に一致すると仮定 した.

表1に後尾となる先端台車,中間台車,および中間台車 を仮に串軸とした台車に対する計算結果を示す.目安値 1.2 を上回っており,一般に路面軌道の急曲線では脱線防 止ガードが設置されることも加味すれば,十分に安全性を 確保できると考えられる.なお,提案方式は現行方式より も運動解析や模型試験の傾向と良く合うが,精度向上には 実軌道でのデータ蓄積が必要であり,今後の課題としたい.

4. 走行試験による検証

川崎重工播磨実験線において横圧・輪重の計測を行い, モデルの妥当性を確認した、半径 100m の曲線を 30km/h で通過した際の本曲線での平均横圧を図5に示す、軌道



図4 推定脱線係数比の拡張

表1 推定脱線係数比計算結果



図5 運動解析と実車走行試験との横圧比較例

表面は乾燥状態であり、内軌側の脱線防止ガードへのフラ ンジ接触はなかった.運動解析は横圧の傾向を概ね再現し ており、安全性検証の有用なツールになると考えられる.

5. まとめ

SWIMOの開発において、運動解析によって安全性を検 証し、輪重抜けを抑制する機構を開発した.運動解析結果 が実車試験での横圧を概ね再現することを確認した.また 路面軌道向けの推定脱線係数比の計算法を提案した.

参考文献

- 2) 奥保政他:川崎重工業における超低床電池駆動路面電 車(LRV)「SWIMO」の開発(その 1~その 3),鉄道車両 と技術, No. 126, 127, 129, 2006-2007
- 石田弘明他:急曲線低速走行時の乗り上がり脱線に対 する安全性評価手法,鉄道総研報告 Vol. 18, No. 8, 2004