

(1) 鉄道車両用次世代振子制御システムの開発



風戸 昭人^{*1} 真木 康隆^{*1} 野本 武志^{*2} 酒見 和生^{*3} 佐々木 勝美^{*4}

1. 概 要

鉄道では曲線区間の走行速度を向上する策の一つとして、曲線で車体を傾斜させる振子車両があり、車体とともに車内の乗客も曲線の内側へ傾くことで、乗客に作用する遠心力を打ち消す効果が生まれる。受賞者らは、さらなる振子車両の乗り心地の向上を目指し、①自車位置検出、②曲線での乗り心地を考慮した車体傾斜動作、③高応答・高精度な振子アクチュエータ制御の3つの要素をキーとした次世代振子制御システムを開発した。図1にシステム構成を示す。

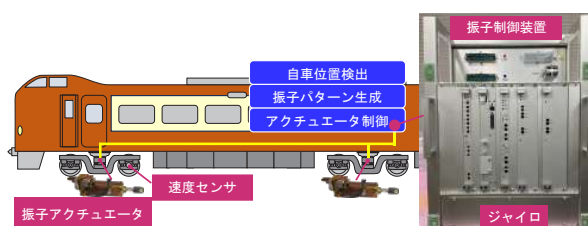


図1 システム構成

2. 技術の内容

① 自車位置検出

本システムでは、車両に搭載したジャイロで車体ヨー角速度を検出し、同時に車両から速度情報を受け取ることで、曲率半径の逆数にあたる「曲率」を算出する。まず運用の対象となる路線を走行して曲率データを取得し、マップデータとして車上に登録する。次に、車両を制御状態で走行する時には、同じく走行しながら曲率データを取得しつつ、マップデータとして登録した曲率データを参照し、両者がもっとも一致するマップデータ上の自車位置を探索することで、高頻度に自車位置を補正する。

② 曲線での乗り心地を考慮した車体傾斜動作

各曲線での適切な車体傾斜角度を計算するには、曲線の曲率と、曲線の内側と外側のレールの高低差であるカントの情報が必要となる。本システムでは、ジャイロと速度情報などを用いて算出した曲率とカントをマップデータとして持ち、検出された自車位置情報に基づいてマップデータを参照することで、先行区間の曲率、カントを把握する。そして現在の走行速度を考慮し、直後に走行する曲線での理想的な車体の傾斜角を、人間工学的知見に基づく乗り心地評価指標をもとに最適化計算を行うことで、指標が最良となる車体傾斜動作を実現する。

③ 高応答・高精度な振子アクチュエータ制御

車体傾斜制御は、台車に構成された空気圧式振子アクチュエータにより行う。従来から使用されている変位フィード

バック制御に加えて、速度と加速度のフィードバック制御、フィードフォワード制御を追加して、高い応答性と安定性を両立し、②の理想的な車体傾斜動作を実現する。また、非制御時には空気圧により減衰力を発生するダンパ機構を搭載している。

3. 走行試験による性能評価

乗り心地の改善効果を確認するため、既存の振子車両に本システム一式を搭載した走行試験を実施した。図2に、同一地点を通過した際にシステムが認識していた自車位置のばらつきを示す。最大誤差は $\pm 2\text{m}$ 、平均値 0.01m 、標準偏差 0.65m となっており、車体の傾斜制御に十分な精度が確保できている。また図3に乗り物酔いの影響を反映する指標である乗り物酔い暴露量値(MSDVy)を示す。平均で従来の制御システムよりも約23%の低減効果を確認した。

4. 実用化

2024年4月、本システムをはじめて搭載したJR西日本273系電車(図4)が新たな特急「やくも」として運用を開始した。運行開始当初から乗り心地に対して高い評価を頂くことができた。今後は既存振子車両の更新に合わせて本システムを展開していきたい。

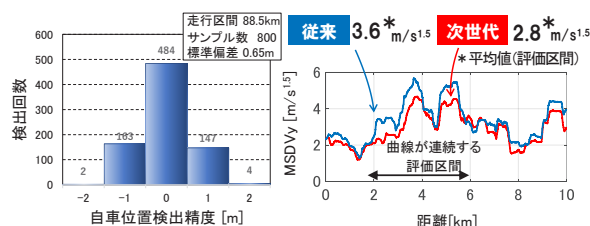


図2 自車位置検出精度

図3 乗り物酔い指標



図4 273系振子電車と振子アクチュエータ

^{*1} 正員、(公財)鉄道総合技術研究所(〒185-8540 国分寺市光町2-8-38)
^{*2} 西日本旅客鉄道(株)(〒532-0003 大阪市淀川区宮原4-6-35 新大阪第3NKビル)
^{*3} 川崎車両(株)(〒652-0884 神戸市兵庫区和田山通2-1-18)
^{*4} 正員、ピー・エス・シー(株)(〒488-0871 尾張旭市平子町東241-1)