

審査の結果の要旨

氏名 松本 耕輔

本論文は、「鉄道における車輪／レール間の摩擦制御に関する研究」と題し、全9章から構成されている。

地下鉄に代表される都市部の鉄道では、急曲線において著大横圧の発生、車輪やレールの局部摩耗、車輪騒音、レール波状摩耗等の諸問題に悩まされている。従来の対策として一般的なレール塗油があるが、車輪滑走や車輪空転のリスクから実施する場所や量に制約を受け、十分な効果が得られないことが多い。

本論文は、諸問題解決のために、近年開発された鉄道向け摩擦調整材が車輪／レールの潤滑に適した特性を有していることに着目し、この摩擦調整材を利用して車輪／レール間の摩擦特性を積極的に制御する「車輪／レール間摩擦制御」の技術を確立したものである。

第1章は序論であり、鉄道発展の歴史の中で、車輪／レール接触に関わる技術が辿った変遷と進歩の経緯について紹介し、未だ課題とされている急曲線通過に伴う諸問題を示し、本論文で提案する「車輪／レール間の摩擦制御」の必要性と諸問題解決に対する有効性について述べている。

第2章では、摩擦調整材の特性を活用し、急曲線通過に伴う諸問題を解決する摩擦制御の3つのコンセプトとして、「車上からレールへの摩擦調整材塗布」、「塗布方法による摩擦係数の制御」、「急曲線通過のメカニズムを考慮した内軌側車輪／レール間の摩擦調整」について述べている。

第3章では、車輪／レール間の摩擦制御に用いる「摩擦調整材」の特性を把握するため、1/5スケールの2円筒転がり接触試験機を用いた実験を行っている。摩擦調整材を塗布することにより、適度な摩擦係数とポジティブな摩擦特性が得られることから、摩擦制御に適した材料であることを確認している。さらに、実用化を想定した、摩擦調整材の塗布と消費を繰り返す実験を行った結果、1回あたりの塗布量と塗布する間隔の双方が車輪／レール間の摩擦特性に大きく影響することを見出し、両者のバランス管理が重要であることを述べている。

第4章では、マルチボディダイナミクスソフトウェアによる曲線通過シミュレーションを実施し、摩擦制御のコンセプトの一つである「内軌側車輪／レール

ル間の摩擦調整」の妥当性について検証している。シミュレーションでは、摩擦調整材の特性を考慮するため、境界潤滑理論と薄膜潤滑理論の考え方を応用した車輪／レール接触モデルを新たに構築している。前軸外軌側横圧の比較により評価した結果、摩擦調整材の塗布方法について、内軌塗布に最も優位性があることを確認している。

第 5 章では、1/10 スケールの模型走行試験機を用いて、摩擦調整材の内軌塗布、外軌塗布、内外軌塗布の条件下で曲線通過実験を行い、それぞれの条件での曲線通過性能を比較している。その結果、第 4 章と同様、内軌レール塗布に優位性が認められることを示している。

第 6 章は、摩擦調整材噴射装置の開発とその評価について述べている。急曲線区間の内軌レール表面のみに、最後尾車両から摩擦調整材を噴射する装置を開発し、走行試験により実システムにおける摩擦制御の効果を検証している。営業線での長期試験も実施し、第 3 章で得られた塗布量と塗布間隔のバランスに関する知見を参考に、摩擦調整材の噴射量や噴射間隔の設定を調整し、その効果を統計的に評価することで、噴射量と噴射間隔の最適化を図ることの重要性を論じている。

第 7 章では、営業線長期試験により明らかになった課題を解決するために、接線力フィードバック制御を新たに提案している。この手法は、あらかじめ設定されたタイミングで指定量の摩擦調整材を噴射するのではなく、摩擦調整材噴射装置を搭載した営業車両が、台車内の接線力の監視により車輪／レール間の摩擦状態を推定し、適切な噴射量のフィードバック制御を行う方式である。曲線通過シミュレーション並びに本線路走行試験を通じてその実用性と効果を検証している。

第 8 章は、構築した摩擦制御システムの評価について述べている。本論文で実施した実験や解析の結果の総括的な考察と共に、鉄道の実システムにおいて車輪／レール間の摩擦制御をより有効的に活用するためのモニタリング技術との連携など、将来展望を示している。

第 9 章は結論であり、以上の結果を要約し、本論文の結論を述べている。

以上、本論文は、鉄道車両の急曲線通過に伴う諸問題を解決するため、車輪／レール間の摩擦特性を積極的に制御する手法を提案し、モデル実験、数値シミュレーションにより理論を構築し、最終的に営業車両を用いた試験により、車両の曲線通過性能を飛躍的に改善できることを実証したものである。構築した摩擦制御システムは地下鉄の営業線で実用化されており、これら研究成果は機械工学に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。