

審査の結果の要旨

氏名 王文軍

本論文は、「アクティブ制御と独立回転車輪を用いる走行装置開発による鉄道車両の曲線通過性能向上に関する研究」と題し、6章よりなっている。

鉄道車両の曲線通過性能と高速走行安定性と相反する関係があり、従来から両立のための研究開発が行われてきた。一般的に用いられている一体輪軸では、急曲線旋回性能の限界があり、地下鉄やLRT(Light Rail Transit)などの急曲線を有する都市交通システムでは一層の取り組みが必要であった。また、従来の曲線通過性能の研究では、左右方向のダイナミクスが主体であり、前後方向の運動、すなわち駆動・制動力や、上下方向における輪重の変動の考慮はあまり行われていない。本研究は、駆動・制動力を考慮した新方式独立回転車輪を用いる走行装置を考案し、理論解析とともに模型実験車両により実証を行ったものである。さらに、アクティブ制御により車体傾斜および輪重アンバランスを抑制する手法についても研究を深め、シミュレーションとともに、実物大試験装置により実証試験を行い、提案手法の有用性を示したものである。

本論文の第1章は「序論」と題し、研究の背景および目的について述べている。

第2章は、「駆動・制動力を考慮した独立回転車輪を用いる走行装置」と題し、独立回転車輪を用いる新方式操舵車両における駆動・制動力特性について考察を行っている。まず、曲線旋回時の横圧を低減させるために、既に提案されている二輪一ユニット操舵性独立回転車輪を用いる走行装置では、駆動・制動力の作用により操舵性能が十分発揮できない現象があることを指摘している。そのため、この独立回転車輪を用いながら駆動・制動力を付加できる新たな走行装置を提案している。提案する台車では、駆動・制動力を分担する新たな車輪ユニットを設け、両側に二輪一ユニット操舵方式車輪をリンク機構で結合する方式である。理論モデルによる安定解析を行い、スケールモデルの試作車両における走行実験にて駆動と操舵の両立を確認している。

第3章では、「新方式独立回転車輪を用いる自己操舵性走行装置」と題し、曲線半径10mという超急曲線を旋回可能なLRT車両を実現させるという目標を設定し、従来の鉄道車輪の常識を打ち破る逆勾配の車輪を用いる新方式独立回転車輪による走行装置を提案している。従来提案されているリンク機構を用いた二輪一ユニット独立回転車輪方式は、車輪踏面形状を工夫することにより重力復元力を内向きに作用させ、車輪の操舵のための回転中心をレール面の外側に設けることによって操舵モーメントを作用されていた。提案する方式は、車輪踏面の勾配を逆向きにするにより、重力復元力を外向きに発生させ、代わりにリンク機構を用いず同一回転軸に左右車輪を配置しながら操舵モーメントを発生させ

る方式である。リンク機構が不要となり構造が簡便となる特徴を有している。提案方式の理論的な検証を行い、適合する車輪踏面形状設計法も構築している。さらに、スケール模型を構築し、新方式独立回転車輪の特性を実証するとともに、シミュレーションにより想定車両の運動特性を明らかにしている。また、上記の提案方式の実現性についても検討を加え、新たな車輪が通過可能な分岐装置など、軌道との連携についても考察している。

第4章は、「空気ばねによる都市鉄道の車体傾斜制御」と題し、都市鉄道における急曲線通過を想定した、車体傾斜制御を空気ばね制御で簡便に行う方法を提案している。従来から、カントが十分確保できない曲線区間を高速で走行するとき、車体を傾斜させることで超過遠心力を打ち消し、乗り心地を損なわずに高速化する車体傾斜方式が実用化されている。しかし、現在実用化されている方式では、高速車両を前提として機構が複雑であり、空気ばねを用いる方式でも、都市鉄道向けの方式とは言いがたい。本論文で提案している方式では、一般的な鉄道車両に既に備えている機械式空気ばね高さ調整装置（LV装置）を用いる方式であり、構造が簡単でフェイルセーフ性を有する方式である。すなわち、LV弁をアクティブに制御させることにより、車体傾斜の目標値を与える方式であり、既存車両の小改造で実現できる。さらに、アクティブ制御に適応する空気の流量特性を改善した2段式のLV装置も提案し、性能を向上させている。都市鉄道の超急曲線を想定したマルチボディシミュレーションを行い、提案する車体傾斜制御装置の効果を確認している。

第5章は、「輪重制御による曲線通過安全性向上」と題し、急曲線における緩和曲線出口を低速で走行する際の輪重抜け現象について、その特性を明らかにするとともに、第4章で考案した空気ばね制御装置による輪重制御手法と安全性向上方策について考察を加えている。実スケール車両によるベンチ試験とマルチボディダイナミクス・シミュレーションにより、LV弁の制御による空気ばね制御装置の有用性を検証し、新たに考案した2段式のLV装置により、空気ばねの内圧を制御して輪重抜け現象を抑制できることを示している。

第6章は「結論」と題し、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、急曲線を有する都市鉄道を対象として、アクティブ制御と独立回転車輪を用いる走行装置について検討を加え、曲線半径10mという超急曲線を、駆動・制動特性を考慮しつつ、安全にかつスムーズに通過可能な新方式の独立回転車輪方式を考案し、空気ばねのLV装置をアクティブに制御することにより車体傾斜と輪重抜け抑制制御を提案したものである。理論構築やマルチボディダイナミクス・シミュレーションとともに、スケールモデル車両による走行実験、実物大車両のベンチ試験により有用性を示したものであり、その内容は独創性に富み、学術的な価値も高く、鉄道工学および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。