

## 論文内容の要旨

論文題目「鉄道車両用二輪一ユニット操舵台車の制御に関する研究」

氏名 道辻 洋平

### 第1章 緒言

従来の鉄道車両では、高速走行安定性と曲線通過性能の両立が大きな課題であった。二つの輪軸、すなわち四輪を台車枠に結合して一ユニットとした、いわゆる二軸ボギーが従来は一般的であり、自己操舵台車の研究開発や、最近ではアクティブ制御の適用も試みられてきている。しかし、アクティブ制御を適用することを前提とし、さらに最近の車体の軽量化を考慮すると、単なる制御則のみではなく台車構造、車輪構造の動的特性と連携した制御手法を総合的に検討する必要がある。本研究は、このような背景から、二輪一ユニット操舵台車という従来にないコンセプトを提案し、車輪の有する自己操舵ダイナミクスとアクティブ制御によって付加される新たなダイナミクスを考察し、体系化することを目的としている。この体系化により、鉄道に新たな可能性を与えうる車両システムの構築が可能である。

### 第2章 鉄道車両のダイナミクス

従来の鉄道車両の曲線通過性を議論する手法として、等価支持剛性モデルを用いた解析がおこなわれてきた。この等価支持剛性モデルにより、台車の走行安定性と曲線通過性のトレードオフを考慮した設計が可能となる。本研究においては、トレードオフではなく、両性能を同時に満足する手法への理論の拡張をこころみる。

また、ここでは車両のマルチボディ・ダイナミクスについても言及し、アクティブな制御系と複雑な鉄道車両ダイナミクスの両方を、効率的にモデル化可能な独自のダイナミクス解析プラットフォームについて言及している。

### 第3章 通常輪軸を用いた二輪一ユニット操舵台車の制御

二輪一ユニット操舵台車として、まず、左右の車輪が車軸で剛結合した、通常輪軸の自己操舵機能を最大限活用する台車設計手法を提案する。これは、周波数特性を考慮した等価支持剛性モデルという新しい概念によって実現可能である。この手法により導き出される、ステアリング・ヨーダンパという新たなデバイスを用いて、定常的な曲線に

は追従し、かつ、蛇行動のような不安定振動には、安定化作用を持たせることが可能である。提案する周波数支持剛性モデルにより、パッシブな台車要素のみで、理想的な定常曲線旋回と高速走行安定性を両立できる。このとき、緩和曲線通過のような過渡的なダイナミクスに対して、わずかに制御をするだけで、走行区間全域で優れた走行特性を有するアクティブ車両を実現できる。このわずかな制御を実現するデバイスとして、電磁アクチュエータでステアリング・ヨーダンパの機能を有する、アクティブ・ステアリング・ヨーダンパを提案している。この支持装置によりヨーダンパ、アクチュエータ機能を一つのデバイスで実現でき、効率的かつ機能的なアクティブ制御を実現できる。ここでは、そのパラメータ設計手法とアクティブ制御手法を提案し、一車両系の数値シミュレーションによって、その有効性を確認している。

#### 第4章 独立回転車輪を用いた二輪一ユニット操舵台車の制御

急曲線における操舵限界のない、重力復元力を活用した車軸のない独立回転車輪操舵台車についても、アクティブ制御を前提とした車両設計手法と制御則の構築をおこなう。この操舵台車は、アクティブ・ステアリング・ヨーダンパと自己操舵性を有する車輪系で構成され、パッシブな構造で高速走行安定性と定常的な曲線旋回を両立しつつ、アクティブ制御によって緩和曲線通過時の過渡的な動特性のみを制御するため、省エネルギーでパフォーマンスの良い走行が実現できる。ここでは、従来あいまいであった、重力復元力によるフィードバック構造を明確化し、それに適合するアクティブ制御系設計手法を提案している。制御手法の有効性を検討するために、マルチボディ・ダイナミクス解析をおこない、提案する独立回転二輪一ユニット操舵台車は省エネルギーかつ、理想的な曲線旋回を実現できることが解析によって示された。

#### 第5章 スケールモデル走行装置プラットフォーム

鉄道車両における実験は、台上試験機や実車走行試験が主であった。しかしながら、コスト、運用性の問題や、アクティブ操舵などの検証をするには安全性という問題もある。そこで、国内では例のない1/10スケールの急曲線走行を模擬できる走行実験プラットフォームを開発した。このようなプラットフォームを活用することで、新規性のあるアクティブ操舵車両の理論検証をおこなうことが可能である。

#### 第6章 通常輪軸を用いたスケールモデル車両の走行実験

通常輪軸を用いた二輪一ユニット操舵台車の1/10スケールのモデル台車を設計・制

作し、その制御実験をおこなった。提案する車輪制御手法を実現するために、メカニカルな点で新規性のある、ボルスタ・ヨーダンパ併合型の支持台車を提案している。この台車構造とアクティブ・ステアリング・ヨーダンパにより、理想的な曲線旋回を実現しつつ、十分な高速走行安定性を有していることが実験と数値解析によって確認できた。

## 第7章 独立回転車輪を用いたスケールモデル車両の走行実験

本研究で明確化した、重力復元力を活用した独立回転アクティブ操舵台車を検証するためのスケールモデル車両を設計し走行実験をおこなった。提案する独立回転二輪ユニット操舵台車は操舵限界がなく、アクティブ・ステアリング・ヨーダンパによって高い走行安定性も確保できることがわかった。また、自己操舵性が高いことから、緩和曲線区間でのアクティブ制御に必要とするエネルギーもきわめて小さく、通常輪軸を用いる場合より、限界の高い急曲線操舵が可能であることが示された。

## 第8章 考察

提案する二方式の二輪ユニットのアクティブ操舵台車について、車輪の発生するクリープ力や重力復元力、さらには、車輪左右とヨーのダイナミクス間の連成といったメカニカルなフィードバック・ループに着目し、それに適合するアクティブ制御を考察するという新しい観点で、車輪操舵メカニズムを体系化している。ここでは、さまざまな車輪構造のダイナミクスを明らかにするとともに、ダイナミクスの最も理想的な車輪構造を示している。この体系化により、提案する二方式の二輪ユニット操舵台車が、実現可能な最も理想的な車輪構造に近い構造を有しており、本質的にすぐれた構造であることが定性的に説明できた。また、提案する二輪ユニット操舵台車について、車体中間に配置した台車のダイナミクスを体系化し、その具体的なアプリケーションとして、車体弾性振動低減を実現しつつ、さらなる車体軽量化、軸重適正化を実現できる三軸車両を提案している。提案する二輪ユニット操舵台車により、交通システムにおける鉄道の位置づけを大きく変える可能性が示された。

## 第9章 結論

本研究では、まず二種類の二輪ユニット操舵台車を提案し、数値解析とスケールモデル実験により有効性を示した。これをふまえ、二輪ユニット操舵台車のダイナミクスにもとづいた体系化を実現し、三軸車両といったアクティブ操舵車両への応用を示すとともに、都市交通における鉄道の新たな可能性を提示した。