

論文名：磁性ソフトマテリアルの磁気粘弾性効果と鉄道車両への応用（要約）

新潟大学大学院自然科学研究科

氏名 梅原 康宏

本論文は、鉄道車両の走行性能に重要となる鉄道車両部品への機能性材料の適用に関する研究である。研究遂行のため、鉄道車両走行シミュレーションを構築し、曲線通過性能の向上に必要となる磁性エラストマーの剛性変化率を求めた。次に鉄道用磁性エラストマーを開発し、磁場の有無による貯蔵弾性率およびヤング率の変化を測定した。さらに磁性エラストマーを用いた軸箱支持装置を開発し、実際の鉄道車両に搭載した走行試験における高速走行安定性と曲線通過性能の評価について論じた。

学位申請論文は、以下の 6 章から構成され、概要は以下の通りである。

第 1 章では本研究の背景および目的について述べ、鉄道車両における速達化の技術、特に曲線通過速度向上に関する技術について示した。さらに、曲線通過速度向上に関する技術の一つである軸箱支持剛性柔軟化の課題を解決する手段として、機能性（刺激応答性）材料を用いることを提案した。刺激応答性材料は物理的刺激や化学的刺激に応答する材料であるが、その中で鉄道車両用台車での使用環境などを考慮すると磁場に応答する磁性エラストマーが優位であることを示し、磁性エラストマーを用いることで軸箱前後支持剛性を可変にすることができる軸箱支持装置を提案した。

第 2 章では鉄道車両走行シミュレーションを用いて、鉄道用部品に適用する磁性エラストマーの必要性能を検討するとともに、鉄道車両の走行性能における効果を評価した。車体を 4 自由度（左右、前後、ロール、ヨー）、各台車を 4 自由度（左右、前後、ロール、ヨー）、各輪軸を 3 自由度（左右、前後、ヨー）、各レールを 1 自由度（左右）とした 32 自由度モデルの運動方程式の時系列応答解を Runge-Kutta-Gill 法を用いて解析した。車輪～レール間力モデルは、レビ・シャルテの非線形クリープ則を適用した。また、車輪～レール間の接触状態については、2 次元幾何学接触計算により輪軸の左右変位に対する接触角や接触半径、接触間隔などのデータベースをあらかじめ作成しておき、シミュレーションより逐次参照することとした。磁性エラストマーを用いた軸箱支持装置の前後剛性が 50%以上低減すれば、すなわち磁場の有無による磁性エラストマーの弾性率変化は 2 倍以上達成できれば、曲線通過性能の向上が期待できることを見出し、さらに曲線半径別の横圧低減効果や磁場印加制御の違いによる曲線通過性能への影響を評価した。

第 3 章では鉄道車両用磁性エラストマーの開発について述べた。プレポリマー法によりポリウレタンおよび磁性エラストマーを合成した。磁性粒子は粒子径 $2.8\mu\text{m}$ のカルボニル鉄(SP)と $235\mu\text{m}$ の Somaloy(LP)を用いた。非磁性粒子は粒子径 $1.4\mu\text{m}$ の水酸化アルミニウム(NP)を用いた。動的粘弾性測定を行い、500mT の磁場を印加した際の貯蔵弾性率の変化率が SP で 2.2 倍、LP で 8.2 倍、LP/NP で 35 倍であることを確認した。また、応答速

度は LP で 15 秒だったが、NP を加えると 6.1 秒と速くなり、SP の 5.1 秒に匹敵することが分かった。磁場敏感性は LP では悪くなるが NP を加えると向上することを明らかにした。磁場中の弾性率は SP, LP がひずみ 10^{-4} まで一定でその後ひずみとともに低くなった。NP を加えるとひずみ 10^{-3} まで一定で、高ひずみまで耐えられることが分かった。一軸圧縮測定を行った。NP の組成を最適化することで、ヤング率変化 2.3 倍、応力変化 4.8 倍の磁性エラストマーが得られた。

第 4 章では鉄道車両を用いた走行試験における性能評価について述べた。三菱重工（株）MIHARA 試験センターの試験線を用いた走行試験方法について、試験線の線形および試験区間について提示し、磁性エラストマーを組み込んだ軸箱支持装置の構造および電磁石を用いた磁場制御方法について述べた。次に PQ 輪軸を用いた横圧測定による曲線通過性能評価方法について述べ、直線高速走行時および曲線通過時における先頭軸の横圧および軸箱前後変位の結果を示した。直線高速走行時において、蛇行動などは確認されず走行安定性を確保していることを実証した。曲線通過時において、電磁石の小さな磁場でも軸箱前後変位で変化は確認されたが、横圧にまで影響を与えないことを確認した。さらに、（公財）鉄道総研所内試験線において曲線通過性能試験を実施し、強磁場を持つ永久磁石を用いて磁場の有無の差を与えたところ、曲線通過性能を向上できることを実証した。

第 5 章ではフェイルセーフ性を考慮した磁性エラストマーの開発および他鉄道部品への適用可能性について述べた。磁場を印加した場合に弾性率が小さくなる磁性エラストマーの開発を行い、磁性粒子にバリウム・フェライトを用いた場合に負の粘弾性効果があることを確認し、磁性粒子の体積分率を増加させることにより磁気粘弾性効果が増加することを見出した。また、磁場の有無によって磁性エラストマーの複素弾性率を変化させることで、車体振動を低減し、乗り心地を向上できる可能性を見出した。

第 6 章では全体の総括を行い、本研究の結論を述べた。