

論文の内容の要旨

論文題目「柔軟鋼板の磁気浮上制御に関する研究」

学位申請者 成田 正敬

キーワード： 柔軟鋼板 磁気浮上 位置決め制御 最適化 湾曲浮上

中央新幹線の整備計画が決定し、現在実験線にて営業線仕様の車両による走行実験が行われている。2027年には東京-名古屋間を最速40分で結ぶ予定であり、磁気浮上技術は今後より身近なものになると考えられる。このような磁気浮上技術は物体を非接触に支持・搬送できる点が特長であり、接触による振動・騒音が発生せず、摩擦によるエネルギー損失や部材の摩耗が低減されるため、高効率・低ランニングコストを実現することが可能となる。これらのメリットを有する磁気浮上技術は、製造業の分野においても応用が非常に期待されている。

その中で、自動車や電気製品、その他の構造材として様々な工業製品に使用されている薄鋼板の製造ラインにおける応用が考えられる。製造工程において材料となる鋼材はロール等の機械的接触によって搬送されており、ロールと鋼材との接触に起因する傷や表面品質の劣化などの問題が発生している。この問題に対して、非接触支持が可能な磁気浮上技術の応用により解決が可能であると考えられる。しかし現在行われている磁気浮上技術に関する研究の多くは浮上対象を剛体とした場合について検討されており、浮上対象自体が複雑な変形を起こす物体の磁気浮上について考察している報告は少ない。

本研究は浮上対象自体が柔軟で様々な変形を起こし浮上が困難な柔軟鋼板に対して、鉛直方向に設置した電磁石の吸引力により鋼板を支持する磁気浮上システムに着目した。このシステムにおいて柔軟鋼板を安定して浮上させるための方法として「両端から張力を与えて柔軟鋼板を平坦にする手法」、「多数の支持点により柔軟鋼板を平坦にする手法」、「折り曲げない程度に柔軟鋼板を湾曲させる手法」の3つのアプローチを提案した。これらの手法を適用した柔軟鋼板の安定性を向上させる3種類の磁気浮上システムについて検討を行った。

本論文は5章で構成されている。以下に各章の概要を述べる。

第1章では研究の背景として従来の研究を概説すると共に本論文の目的と柔軟鋼板を安定浮上させる3つのアプローチについて述べ、本論文の構成と各章の概要について述べた。

第2章では「両端から張力を与えて柔軟鋼板を平坦にする」というアプローチを磁気浮上システムに適用し検討を行った。薄鋼板磁気浮上システムにおいて鉛直方向だけでなく水平方向から磁場を印加することにより鋼板水平方向の非接触位置決めが可能となり、さらに張力を与えることで鋼板鉛直方向の弾性振動や静的なたわみの抑制が可能となる。また水平位置決め制御を行うことで浮上中の鋼板の横滑り・落下という問題が解決でき、安定した浮上を維持しな

が非接触搬送を行えることが期待できる。水平位置決め制御機構を有する磁気浮上システムが柔軟鋼板に有効であるか磁場解析と有限差分法を用いた形状解析を行ない、浮上鋼板形状の評価方法を提案した。これにより本システムの適用が有効な板厚の条件を明らかにし、より浮上が困難な極薄鋼板が安定浮上できる可能性を示した。さらに浮上実験を行なって浮上確率を測定し、水平方向からの磁場が磁気浮上鋼板の浮上安定性にどのような影響を与えるかを確認した。これらの結果から鋼板形状解析による評価値と浮上実験による浮上確率の関係を明らかにした。

第3章では「多数の支持点により柔軟鋼板を平坦にする」というアプローチを磁気浮上システムに適用し検討を行った。柔軟な薄鋼板を浮上させた際、電磁石の吸引力が印加されない箇所にたわみが発生する。このとき様々な周波数成分を持つ振動が発生し浮上性能が劣化する問題がある。この問題を解決するため、この磁気浮上システムの電磁石による吸引力が印加されない箇所に永久磁石を設置し、この磁力を浮上鋼板のたわみ抑制に利用したハイブリッド磁気浮上システムについて検討した。このとき使用する永久磁石の個数と配置、鋼板表面との距離（Gap）を最適に設定する必要があるが、これらの組み合わせは非常に膨大であるため、実験的に最適な組み合わせを探索することは現実的に困難である。そこで遺伝的アルゴリズムを用いて、永久磁石の個数と配置、Gapを探索した。その結果、浮上鋼板のたわみを最小にするシステムの設計手法を確立し、様々な板厚の鋼板に対して有効であることを明らかにした。また浮上実験の結果から、永久磁石を最適に配置することで柔軟鋼板の浮上安定性が向上することを明らかにした。

第4章では「折り曲げない程度に柔軟鋼板を湾曲させる」というアプローチを磁気浮上システムに適用し検討を行った。磁気浮上システムによって柔軟鋼板を浮上させる場合、鋼板自体が変形することにより複雑な振動が発生し浮上制御は困難となる。そこでこの鋼板の柔軟性に着目し、柔軟鋼板を塑性変形しない範囲で短尺方向を湾曲させることで安定して浮上させる湾曲磁気浮上装置を提案した。また差分解析を用いて湾曲浮上中の鋼板形状を算出し、安定浮上に最適な電磁石の傾斜角を検討した。この結果をもとに板厚の異なる柔軟鋼板を湾曲させて浮上実験を行い、浮上確率を測定して実験的な浮上安定性の評価を行った。これらの結果から柔軟鋼板を湾曲させることにより浮上安定性が向上することを明らかにし、柔軟鋼板の形状解析結果との比較により最適な傾斜角を推定できる可能性を示した。

第5章では本論文の結論を述べている。第2章、第3章、第4章の理論解析や実験を通して得られた結論と、本研究成果に立脚した将来への展望を述べた。今後は本研究により有効性が確認された手法や、さらに新たな手法を最適に複合させることで、より高い浮上安定性を実現する磁気浮上システムの構築が可能になると考えられる。