

# 軟磁性細線を用いた 交流ソレノイドの応答性解析

研究・開発機関 : 株式会社神戸製鋼所  
 利用施設 : 自社内設備、株式会社 JSOL 様設備  
 計算規模 : 数百万要素、CPU 64 コアで数時間程度  
 利用ソフトウェア : JMAG (ver.21)

## Before

- モータや交流ソレノイド鉄心用の軟磁性細線を開発しており、ソレノイド式電磁ポンプの可動子に採用することにより従来のバルク鉄心と比べて応答性が大きく向上することを実機実証しました。
- しかし、材料開発を行ううえで素材の材質や形状が部品性能に与える影響を把握することが必要になり、実機評価だけでなくシミュレーションを用いて部品特性を予測することが新しい課題として出てきました。

## After

- 電磁界解析ソフトを用いて、電磁ポンプの可動子を構成する磁性細線 1本1本までを再現したモデルを作製し、応答性解析を行いました。
- 細線内を流れる渦電流を可視化し、線間での渦電流遮断が可動子の応答性向上に対して効果があることを確認しました。
- 可動子のモデルを簡略化することで短い時間で部品性能を予測することができ、応答性の良い製品の迅速な開発が可能となりました。

## 背景と目的

当社ではこれまで自動車・産業機械向け電磁弁、リレーやクラッチ等に用いられる軟磁性線材・棒鋼を製造してきましたが、今後市場拡大が見込まれるモータ等交流駆動部品向けに新たな軟磁性細線を開発しています。

軟磁性細線は純度が高く、磁気特性の優れる純鉄を線径約1mmまで細径化したもので、図1に示すように細線間の境界で渦電流を遮断することで、電磁ポンプなどの交流ソレノイドの応答性向上や損失低減といった効果が期待されます。これまで軟磁性細線を用いた可動子を採用することでソレノイド式電磁ポンプの応答性が大きく向上することを実機評価にて確認しましたが、今後様々な部品仕様や使用条件に応じて最適な材料の開発や提案を行ううえで、シミュレーションを用いた部品特性を予測することがさらに必要となってきました。

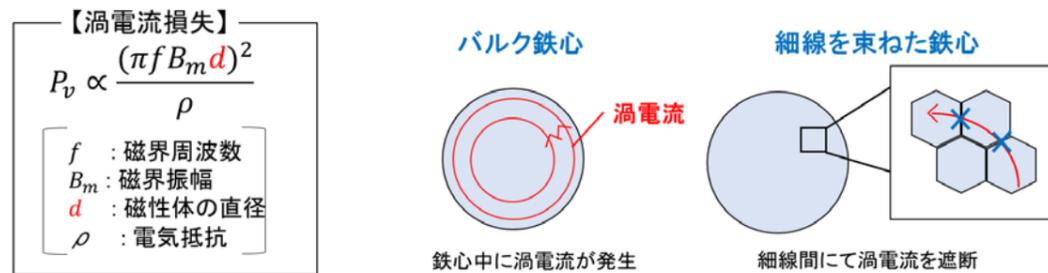


図1 開発中の純鉄系軟磁性細線のコンセプト

## ■ 利用成果

### 電磁界解析による応答性解析

軟磁性細線を束ねた鉄心を有するソレノイドモデルを作成し、電磁界解析を用いて鉄心内部における渦電流密度の時間変化を計算しました。図2はコイル通電開始から10ミリ秒後における鉄心内の渦電流密度を示しており、細線鉄心を用いた場合、バルク鉄心と比べて渦電流密度が大幅に低減されていることがわかります。その結果、可動子の磁束応答性が向上し、通電開始時の電磁力の立ち上がりが改善することがわかりました。(図3)。

※渦電流密度の電磁界解析は株式会社JSOL様ご提供

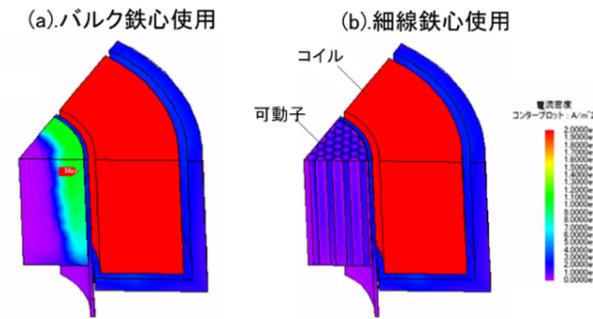


図2 通電10ミリ秒後の渦電流密度分布

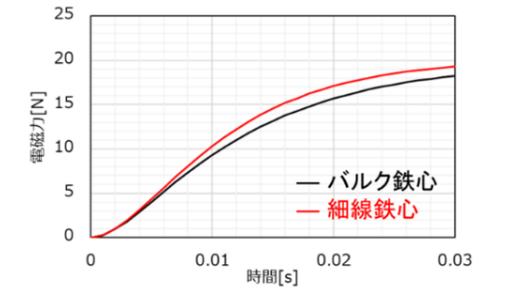


図3 可動子に働く電磁力の時間変化

### 実機評価と解析結果の比較

解析結果の妥当性を検証するために、解析で得られた可動子応答性を実機評価結果と比較しました。図4は電磁ポンプの磁気回路部を模して試作したソレノイドの模式図であり、細線を用いた可動子是对辺1.2mmの純鉄製六角細線を薄肉パイプ内に約130本束ねて作製しています。図5はコイル通電OFF時(ばねによる反発時)における可動子の変位を測定した結果であり、細線可動子のほうが変位は大きく移動速度も高くなっていることがわかります。可動子の移動速度について実機評価と電磁界解析結果を比較したグラフを図6に示します。ON(吸引)、OFF(反発)時における可動子移動速度はいずれも細線のほうが高くなっており、解析と実機評価結果はおおむね一致しています。

一方、解析において細線 1本1本を再現しようとすると解析モデル作製の作業負荷や計算負荷が高くなってしまいます。解析負荷低減のため、細線鉄心を簡易なバルク鉄心とみなしたうえで材料の電気抵抗率を変えることで渦電流遮断効果を再現した手法を考案し、様々な部品仕様に応じた軟磁性細線の開発や提案に活用しています。



図4 試作部品の模式図

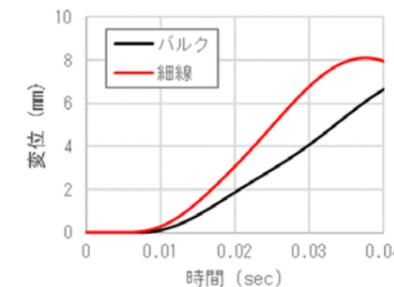


図5 可動子の変位測定結果(反発時)

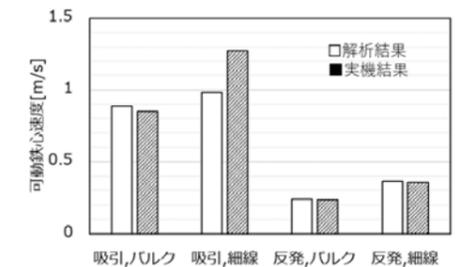


図6 可動子の移動速度比較