


## 学位論文審査結果の要旨

専攻	物質生産工学専攻	氏名	相原 茂
論文題目	極小局所ベクトル磁気センサによる磁気特性測定法に関する研究		
主査	榎園正人・教授・電気電子システム創成工学講座		
審査委員	秋田昌憲・教授・電気電子システム創成工学講座		
審査委員	小川幸吉・教授・電気電子システム創成工学講座		
審査委員	戸高 孝・准教授・電気電子システム創成工学講座		
審査委員	長屋幸助・群馬大学名誉教授		
審査結果の要旨 (1000 字以内)			
<p>変圧器、発電機やモータなどの電気機器の低損失・高効率化のためには、実際の電気機器鉄心中のベクトル磁気特性の挙動を詳細に知る必要がある。電気機器鉄心中のどの箇所でもどの様なベクトル磁気特性の振る舞いが起こっているかをリアルタイムで可視化することができれば、有効な対策をとれるようになる。このような見える化が実現できれば、機器設計のための強力な分析・評価ツールとなる。</p> <p>実機鉄心内の詳細なベクトル磁気特性分布を明らかにするためには、極小なベクトル磁気特性測定用センサプローブを開発する必要がある。従来開発された最小のセンサプローブは 10mm×10mm(ドイツ物理工学総合研究所; PTB 製作)の大きさであったが、本研究ではそれを遙かに上回る 2.5mm×2.5mm の米粒より小さい世界最小サイズのセンサ開発に成功した。このセンサは直径 0.010mm の極細のワイヤを 8 層に整列良く緻密に巻き上げた十字型の巻線構造をもつ磁界強度ベクトル測定用のダブル H コイル(2mm×2mm)と磁束密度ベクトル測定用として 4 本のばね内蔵型の探針(間隔 2.5mm)が用いられている。</p> <p>一般に、電気機器鉄心に用いられる電磁鋼板の表面には絶縁皮膜として堅いガラスコーティングが施されており、鉄心中の磁束密度を測定するにはこのコーティングを貫通して鉄板部に探針を接触させる必要がある。これを解決するために超硬合金製の探針を回転させる仕組みを付加するなど、小さな構造に加えてこのような困難な要求を満たすため卓越した技術が求められる。本研究ではこれらの技術的難問を解決し、ベクトル磁気特性可視化システムを開発し、製品化している。この製品は国内外に多くの反響をおこし、日刊工業新聞上で大きく紹介された。このシステムにより変圧器用鉄心中の結晶粒界の影響までも知ることができ、実際のモータモデルにおいても損失分布の測定結果が示されている。</p> <p>本審査では自動測定システムの構造、装置の性能について質問が行われたが、いずれも的確に答えられ、十分な研究資質を備えていることを示した。</p> <p>以上の審査結果を踏まえて、本研究は電気機器の低損失・高効率化技術の発展に大きく寄与するものであると高く評価できる。よって、審査委員会は本研究論文が工学博士の学位論文として相応しいものと判断した。</p>			

## 学 位 論 文 の 要 旨

専攻名	物質生産工学	ふりがな 氏名	あいはら しげる 相原 茂 
学位論文題目	極小局所ベクトル磁気センサによる磁気特性測定法に関する研究 (Studies on Measurement Method of Magnetic Properties with a Very Small Local Vector Magnetic Sensor)		
<p>世界的な地球環境問題による低炭素化社会の実現や国内では原子力発電の依存度を下げていくために、省エネルギー化の推進が求められている。電力を消費する事業者や家庭に電気を送る送・配電システムはシステムの効率を上げるために変圧器が用いられている。変圧器の一台々は小さい損失であるが数多く使用されていることから、合計すると発電所一基分程度の損失となる。そして、電気エネルギーを機械エネルギーに変換するモータの電力消費の割合は57%以上にもおよび、最近では電気自動車やハイブリッド自動車に搭載され、省エネルギー化のために高効率化および損失低減の要求が高まっている。その解決のためには、変圧器やモータの鉄心材料として使用されている磁性材中の局所磁気特性を正確に評価することであり、そのことにより特性改善の手掛かりを得ることが出来る。</p> <p>従来、鉄心材料の磁気特性の評価に用いられてきたエプスタイン法や単板磁気試験法は磁束密度と磁界強度をスカラー量で表すため、実際の変圧器やモータの稼働状態で発生する回転磁束下の磁気特性を評価することが出来なかった。このようなことから、磁性材料の新しい評価方法として磁束密度と磁界強度をベクトル量で表現する「二次元ベクトル磁気特性」が提案され、変圧器やモータの高効率・低損失化を行うための評価として有効であることが示されている。また、「二次元ベクトル磁気特性」を測定するひとつの方法として、探針法とHコイル法を組み合わせたV-Hセンサ(Vector-hysteresis sensor)が開発され、方向性電磁鋼板の局所二次元ベクトル磁気特性や三相変圧器モデル鉄心内の二次元ベクトル磁気特性分布の測定が行われている。しかしながら、最近の小型化された変圧器やモータの磁気特性の測定を行うには現状のV-Hセンサは大きすぎる問題があった。</p> <p>本論文では、V-Hセンサの小型化を行うとともに、小型化に伴う問題点の解決と基本特性の評価を行った。そして、極小局所V-Hセンサを製作し、磁気回路モデルの磁気特性分布を測定することでV-Hセンサの有用性を示し、電気機器である変圧器やモータの効率化を磁気特性測定技術の観点から寄与することを目的とする。本研究では、以下の様に評価・研究を行い極小局所ベクトル磁気センサによる磁気特性測定法の確立を目指した。</p> <p>V-Hセンサの基本特性を明らかにするために、磁束密度を測定するB探針の間隔を極小とした場合の測定精度を評価し、また、磁界強度を測定する際に検出感度低下のない極小のHコイルを製作し、測定時の誤差の原因になるHコイルの周波数特性を評価することで、測定データの妥当性を示した。</p>			

(注) 和文 2,000 字又は英文 800 語以内

続紙 有 無

また、探針法では探針と磁性材料の地鉄との電気的な接触安定性が問題となる。そのことから、安定した接触を実現するために絶縁被膜貫通機能を持った探針を開発した。

小型化した極小局所 V-H センサは 2 種類製作した。探針間隔 7mm, H コイル幅 4mm で絶縁皮膜貫通機能を持ち, H コイルの巻線は導体外径が 0.012mm の極細のマグネットワイヤを 350 ターン巻線することで実用的な検出感度を得ている。そして, より小型化した探針間隔 2.5mm, H コイル幅 2mm で H コイルの巻線は導体外径が 0.010mm の極細マグネットワイヤを 560 ターン巻線したものである。

極小局所 V-H センサを使用し, 磁気特性を改善するためのスクラッチが施された方向性電磁鋼板を使用した変圧器型磁気回路モデルの詳細な磁気特性分布の測定を行った。このことにより, 方向性電磁鋼板に施された張力被膜の効果とスクラッチの効果を明らかにすることで小型化した V-H センサの有用性を示した。

V-H センサをより有効に使用できるようにスカラロボットへの搭載と, モータ等の複雑な形状の測定箇所を容易に設定することを可能にしたソフトウェアにより実機電気機器の鉄心内の局所ベクトル磁気特性分布を測定出来る装置を「ベクトル磁気特性可視化装置」として実用化した。

開発した極小局所 V-H センサを使用した「二次元ベクトル磁気特性」の測定により, 従来測定できなかった変圧器やモータの実機の鉄心内の磁気特性が明らかになり, 変圧器やモータの電磁力応用機器の高効率化・損失低減に繋がるということが可能となる。

本研究により磁気特性測定技術が向上し, これまで不十分であった実働状態の変圧器やモータ等の電気機器内の磁気特性測定技術の観点から, 変圧器やモータの高効率・低損失化の開発・設計・評価に大きく寄与することが期待される。

(注) 和文 2,000 字又は英文 800 語以内

続紙 有  無