


学位論文の要旨

専攻名	物質生産工学	ふりがな 氏名	わかばやし だいすけ 若林 大輔 
学位論文題目	電磁鋼板の二次元磁気ひずみ特性とそのモデリングに関する研究		
<p>我が国では 2 度の石油ショックの経験からエネルギー消費機器の省エネルギー化が進められてきた。2011 年 3 月に発生した東日本大震災による原子力発電所事故以降、総発電量の内火力系発電の割合が 80 %以上となり更なる省エネルギー化が求められている。国内で消費されている電力量の約 60 %がモータであることから、モータの低損失化が重要となる。モータの損失の一つである鉄損は、低鉄損な電磁鋼板の使用によって低減できるとされている。しかし、低鉄損な電磁鋼板を使用してもモータの損失が想定よりも増加することが知られている。これは、実際のモータ鉄心での励磁状態や製造時に生じる応力等の鉄損増加要因ビルディングファクターによるものである。特に圧縮応力による鉄損増加は無応力状態の鉄損よりも数倍増加することが報告されている。この応力による鉄損変化には、電磁鋼板の磁気ひずみに関係している。電磁鋼板が磁化したとき、わずかに外形が変化する。これを磁気ひずみという。そのため、外部応力による外形変化が、電磁鋼板内部の磁化分布に変化をもたらすことが考えられる。これを磁歪の逆効果という。応力による鉄損変化の現象を明らかにするためには、電磁鋼板の磁気特性と磁気ひずみ特性の把握が必要である。</p> <p>電磁鋼板の磁気ひずみ測定法は、IEC や JIS によって標準化されていない。標準化されている磁気特性測定法を用いて、磁気ひずみ測定を加えた手法が一般的であった。この測定法で得られる磁気特性と磁気ひずみの関係は、一方向励磁下の同方向の磁気特性と磁気ひずみである。しかし、磁気特性である磁束密度と磁界強度はそれぞれベクトル量であり、磁気ひずみは面内任意方向に発生するため、これらの関係を測定することは困難である。従来の測定法は、電磁鋼板のグレード選定を行うには十分であるが、電気機器設計を行うには不十分な測定データである。</p> <p>そこで、電磁鋼板の磁束密度と磁界強度をベクトル量として測定可能なベクトル磁気特性測定法が、また、面内任意方向に発生する磁気ひずみを測定可能な二次元磁気ひずみ測定法が提案されている。これらの手法を用いることで、従来の標準測定法で測定できない磁気特性と磁気ひずみの関係の評価することができる。これまでの研究では、無誘導 3 軸ひずみゲージにより高磁場下の測定が可能となり、特定磁束条件下のベクトル磁気特性と二次元磁気ひずみの測定が行われた。その成果として磁束密度ベクトルと二次元磁気ひずみの最大方向は一致しない結果が報告された。</p> <p>一方で、二次元磁気ひずみの基礎的な特性や評価法は確立されておらず、任意磁束条件下、特に高磁束密度でのベクトル磁気特性と二次元磁気ひずみの関係は明らかにされていない。</p>			

本論文では、以下の項目に着目し検討を行った。

(1) 二次元磁気ひずみの基礎的な特性を示し、その評価法を確立する。二次元磁気ひずみの最大値と最小値はそれぞれ、伸びの最大磁気ひずみと縮みの最大磁気ひずみを示す。測定方向に依存しない評価が可能となり、面内任意方向に発生する磁気ひずみの絶対量を明らかにすることができる。また、従来の磁気ひずみ測定法での磁気ひずみと比較することで、二次元磁気ひずみ測定の妥当性と有用性を示す。

(2) 任意方向の交番磁束または回転磁束下におけるベクトル磁気特性と二次元磁気ひずみの関係を明らかにする。高磁束密度では大きな磁気ひずみ量に加え磁気ひずみ波形に歪みが生じる。特に方向性電磁鋼板では、磁束密度ベクトルが約 55 deg. 方向を向く場合において縮みの最大磁気ひずみの方向が磁束密度ベクトルの方向付近に変化する。磁気ひずみ定数より算出される磁気ひずみ量からその結果の妥当性が得られた。

(3) 電気機器鉄心の二次元磁気ひずみ分布を明らかにするため、測定した結果を用いて二次元磁気ひずみ解析を行う。二次元磁気ひずみの数値モデル化手法 (E&S-W model) を提案し、歪み磁束下の二次元磁気ひずみを推定する。その推定結果と測定結果はよく一致した。この手法を用いた二次元磁気ひずみ解析法を提案し、リングコアモデルの解析結果と測定結果から妥当性を検証した。本解析手法を用いて、モータモデルコア、変圧器モデルコアの二次元磁気ひずみ解析を行った。変圧器モデルコアでは、接合部で大きな磁気ひずみが発生する解析結果を得た。

ベクトル磁気特性と二次元磁気ひずみ測定により、従来法では測定できなかった磁気特性と磁気ひずみの関係が明らかになった。更に、それらの測定結果を用いた二次元磁気ひずみ解析によって鉄心の二次元磁気ひずみ分布の可視化が実現した。これらの成果により、モータや変圧器の低損失化、低騒音・低振動化に大きく寄与することが期待される。

学位論文審査結果の要旨

専攻	物質生産工学専攻	氏名	若林 大輔
論文題目	電磁鋼板の二次元磁気ひずみ特性とそのモデリングに関する研究		
主査	榎園 正人		
審査委員	長屋 智之		
審査委員	金澤 誠司		
審査委員	戸高 孝		
審査結果の要旨 (1000字以内)			
<p>磁性材料に磁場を印加すると、磁性材料が伸び縮む現象は古くから磁気歪み現象として良く知られている。この磁気歪み特性は磁性材料の磁気特性を支配するのみならず、電気機器の振動並びに騒音の原因となっている。特に、変圧器騒音は低周波騒音として深刻な社会問題を引き起こしている。</p> <p>本研究論文は5章からなり、まず現状の到達点と課題を明らかにし、従来の磁気歪み特性のとらえ方を見直し、新しく二次元磁気歪みを定義し、その測定法を開発して、任意方向の磁気歪み特性を明らかにしている。さらに、ベクトル磁気特性を同時に測定し、その関連を明確にしている。この新しい測定法に従って、モータなどの回転機用鉄心材料として、無方向性電磁鋼板並びに変圧器用鉄心材料として方向性電磁鋼板を取り上げ、二次元磁気歪み特性の特徴と材料毎の違いを明らかにしている。これらの測定結果から、この二次元磁気歪み現象を解析技術へ導入するため、これを表すモデリングに取り組み、E&S-W (Enokizono&Soda-Wakabayashi) モデルとして提案し、そのモデルの実用性並びに妥当性を検討しその有用性を明らかにしている。特に本モデルはカーディフ大学のモデルに比べて遙かに適用範囲は広く、精度も良いことが確かめられている。そして、このモデルを有限要素解析に導入し、変圧器並びに誘導モータを磁気特性解析し、ベクトル磁気特性並びに磁気歪み分布を明らかにしている。従来の磁気歪みは磁束密度の関数として捉えられているため、磁束密度の高いところで磁気歪みが大きくなっていったが、本解析結果では磁界強度の大きいところ並びに磁束密度ベクトルの傾角の大きいところで磁気歪みが大きくなっており、従来と全く異なる知見を得た。実際の機器の数多くの歪み測定の結果は本結果と良く一致しており、これまで不可解であった磁気歪みの現象を明らかにしたことは大きい。</p> <p>以上のように二次元磁気歪み解析は電気機器に適用され高い有用性を示した。審査委員会からはさらなる発展を期待して、物理的現象に基づく、電磁測定法の精度について質疑がなされたが、留意した点を丁寧に説明し、適切な理解が得られた。また、公聴会においてどの様にすれば電気機器の低騒音化並びに低損失化ができるのかについて、今後の発展に関する質疑がなされ、適切な返答で対応した。</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化・低騒音化の発展に大きく寄与するものであり、本手法の新規性並びに新たな発見を示すなど、高く評価できる。よって、審査委員会は本研究論文が博士(工学)の学位論文として相応しいものと判断した。</p>			