


## 学位論文の要旨

専攻名	物質生産工学専攻	ふりがな 氏名	さとう たける 佐藤 尊	
学位論文題目	高磁束密度領域におけるベクトル磁気特性解析に関する研究			
<p>省エネルギー化が進められる中、モータや変圧器などの小型化・高効率化が重要視されている。電磁応用機器の小型化はただ小さくするのではなく、小型化する前の性能を維持しなければならない。小型化によって電磁応用機器は高密度化され、その結果機器内の磁場は高磁束密度となる。電磁応用機器の小型化には高磁束密度領域の磁気特性の把握とその設計技術が必要となる。</p> <p>現在、電磁鋼板などの磁性材料の磁気特性評価には一般に IEC で規格化されているエプスタイン試験や JIS で規格化されている単板磁気試験のカタログ値が用いられている。これらの評価法は磁気特性をスカラー量として取り扱っている。磁性材料の構成方程式はベクトル量を使用して、<math>B = \mu_0 H + M = \mu H</math> の関係で表わせることは良く知られている。当然、磁気透磁率テンソル <math>\mu</math> は磁界強度ベクトル <math>H</math> と磁束密度ベクトル <math>B</math> の間のベクトル関係を表すものとして評価されなくてはならない。そこで磁気特性をベクトルで評価するベクトル磁気特性が、ベクトル磁気特性を考慮した有限要素磁界解析モデルとして E&amp;S モデルが提案されている。このモデルはベクトル磁気特性の測定結果を用いて導出された工学モデルであり、<math>B</math> ベクトルと <math>H</math> ベクトルを数値電磁界解析上で表現できる。しかし、E&amp;S モデルは磁束波形が正弦波形状である場合にしか提要できないため、この点を改良した積分型ダイナミック E&amp;S モデルが提案された。積分型ダイナミック E&amp;S モデルでは磁束の時間変化による渦電流の影響を表現できるようになっており、動磁場解析が可能となった。前述したように電磁応用機器の小型化・高効率化の設計技術を考えて高磁束密度下でのベクトル磁気特性評価とその磁界解析手法の確立が求められている。</p> <p>積分型ダイナミック E&amp;S モデルは工学モデルであり、磁界解析にはベクトル磁気特性の測定結果が必要となる。このモデルを用いて高磁束密度領域のベクトル磁気特性磁界解析を行うには高磁束密度領域のデータベースが必要となるが、高磁束密度領域のベクトル磁気特性測定は高電圧を制御する必要があり容易ではない。その結果、積分型ダイナミック E&amp;S モデルでの高磁束密度領域の磁界解析はいまだ実現していない状況である。</p> <p>本論文では電磁応用機器の小型化・高出力化に伴う高磁束密度領域の機器設計技術の構築を目的として、積分型ダイナミック E&amp;S モデルを用いた高磁束密度領域のベクトル磁気特性磁界解析を実現するため以下のことを行った。</p>				

(注) 和文 2,000 字又は英文 800 語以内

続紙 有  無

はじめに高磁束密度領域のベクトル磁気特性のデータベースを作成するために測定装置の改良と波形制御方法の改良を行った。そのデータベースをもとに高磁束密度領域のベクトル磁気特性の特徴についてまとめた。次に高磁束密度領域における積分型ダイナミック E&S モデルの磁界強度波形の再現精度と再現するために、必要なサンプリング点数や考慮すべき高調波成分の次数について検討した。また、積分型ダイナミック E&S モデルの渦電流項による磁界強度の高調波成分の推定精度と適用範囲を広げるために表皮効果による実効厚みを考慮できるように改良した。改良した積分型ダイナミック E&S モデルの適用例として高磁束密度励磁駆動下の SPM モータモデルコアをベクトル磁気特性磁界解析し、高磁束密度励磁駆動下における SPM モータモデルコアの磁気特性を明らかにした。

## 学位論文審査結果の要旨

専攻	物質生産工学専攻	氏名	佐藤 尊
論文題目	高磁束密度領域におけるベクトル磁気特性解析に関する研究		
主査	榎園 正人		
審査委員	石原 好之		
審査委員	大鶴 徹		
審査委員	小川 幸吉		
審査委員	戸高 孝		
審査結果の要旨 (1000 字以内)			
<p>近年、低炭素化社会の構築に向けた種々の技術開発が注目されている。中でもモータ、発電機はその根幹をなし、低損失・高効率化が進められている。しかしながら次世代機器としては不十分で、小型軽量化・高出力化（高密度化と称する）が求められているが、従来の開発設計手法では困難で、ベクトル磁気特性に基づいた方法しかない。さらに、これまでの中磁束密度領域での開発から高磁束密度領域に踏み込んだ新たな開発設計手法が求められる。しかしながら、ベクトル磁気特性はこれまで 1.4T 領域までの測定結果しかなく、測定法の改良が強く望まれていた。また、有限要素法によるベクトル磁気特性解析手法について、これまで E&amp;S モデル、ダイナミック E&amp;S モデルと改良がなされてきたが、高磁束密度領域での適用は未知の領域でなお課題があった。そこで、本研究論文では、まず高磁束密度領域まで測定が可能なベクトル磁気特性測定装置を開発し、1.9T までの測定を可能にした。とりわけ、電力増幅器（12kw、300v）との整合、励磁磁気回路の最適化、測定アルゴリズムの改良は成果として大きい。これによって世界で初めて 1.9T 領域までのベクトル磁気特性のデータベース化をなした。</p> <p>他方、ベクトル磁気特性解析について高磁束密度領域になると磁気特性は強い非線形領域に入る。さらに、磁束密度と磁界強度の関係が逆転し測定のみならず解析も困難となる。本研究論文では E&amp;S モデルの磁気抵抗係数並びに磁気ヒステリシス係数の表現のため第 51 調波以上の考慮、1 周期 200 点以上の時間分割の必要性など、高磁束密度領域の磁界強度波形を推定するための必要な条件を明らかにした。積分型ダイナミック E&amp;S モデルの渦電流項への表皮効果による実効厚みの新たなモデル導入をすることで、高磁束密度領域までのベクトル磁気特性解析を可能とした。適用例として SPM（表面磁石）モータの磁気特性解析結果から、高磁束密度領域でのベクトル磁気特性の挙動を明らかにし有用性を示した。審査委員会からは高調波含有率の変化におけるベクトル挙動について質疑がなされたが、両ベクトルの強い非線形性が起因することをもって、説明が行われた。また、公聴会において収束条件として考慮すべき点ならびに表皮効果の連続性に質疑がなされたが、適切な返答で対応をした。</p> <p>以上の審査結果を踏まえて、本研究は今日における電磁力機器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工学博士の学位論文として相応しいものと判断した。</p>			