

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 福岡 克弘

本論文は、高温超電導体の磁場中における振る舞いをマクロ的に評価することを目的に、静磁場交流磁場、パルス磁化における磁気特性評価を行うとともに、高温超電導体の応用技術として磁気回路をバルク超電導体で取り囲んだ磁気遮蔽変圧器を提案し、その特性についても評価したものであり、全体で6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的および本論文の構成と概要について述べている。

第2章では、高温超電導体の諸性質と磁気特性評価手法について述べており、高温超電導体の基礎物理・磁束の運動・特徴・製造技術、電磁力数値解析手法、磁気特性計測手法などに関して、これまでの研究開発状況について要約するとともに、現在の問題点および今後の開発課題について解説している。

第3章ではホール素子を用いた静磁場中における高温超電導体の磁場可視化計測により、表面の結晶粒と磁束密度分布との相関を確認している。一定磁場下における磁束密度分布と励磁後の残留磁束密度の分布は異なり、この傾向は結晶粒が不均一な試料ほど大きく変化することが判明し、また、連続的な励磁場における計測からウィークリンク結晶粒界やクラック等)からの磁束の侵入の観察など、超電導体の磁気特性分布は本手法により正確に評価できることが確認された。さらに、ヒステリシス特性計測および磁束クリープ計測からは、超電導体内部への磁束の侵入には周囲の領域がゲートとして働く振る舞いが見られ、磁気特性が複雑に分布する超電導体においては、ヒステリシス特性計測および磁束クリープ計測が局所的な特性を評価するのに有効であることが確認された。

第4章では、交流磁場下における高温超電導体のマクロ的な磁気特性評価と磁気遮蔽変圧器の開発を行っている。交流磁場下における磁気特性評価では、周波数特性計測により外部印加磁場とリング試料内側およびリング試料自体に侵入する磁束には位相差が生じ、ヒステリシスが得られること、および外部磁場強度をパラメータにした磁束ジャンプ特性評価により、リング試料内側に侵入する磁束は、磁束ジャンプが生じるまでの領域では磁束フローが支配的で、磁束ジャンプが生じた後で

は磁束ジャンプによりリークする磁束が支配的であることが判明した。

高温超電導体の磁気遮蔽効果を利用した磁気遮蔽変圧器では、超電導体により磁路を取り囲むことにより、高周波数においても入力電圧が低い変圧器を実現することが可能であることを検証している。これは、半導体製造過程における高周波誘導加熱装置および高周波スパッタリング装置等で使用されている高周波変圧器への応用に期待できる。測定の結果、高周波数領域においても二次電圧の低下はほとんど見られず、フェライトコアの磁路を超電導体で取り囲むハイブリッドな磁路を構成することにより、フェライトコアからの漏れ磁束を遮蔽し、特に高周波数領域で高効率な変圧器を実現できることが確認されている。

第5章では、バルク高温超電導体を磁化してバルク超電導磁石として使用する目的から、パルス磁化の有用性について確認し、試料全体における着磁特性の可視化計測、および最適なパルス磁場の検討を行っている。磁場可視化計測によるパルス磁化特性評価からは、パルス磁化によりフィールドクーリングによる磁化と同程度の着磁が可能であること、また、印加するパルス磁場が低い場合は超電導体への磁束侵入の時定数を考慮し、パルス磁場が高い場合は超電導体の発熱を考慮する必要があることが分かった。さらに、最適なパルス磁場のピーク値を求め、パルス幅が最大となるようにコイルの巻数を決定することにより最適な磁化が行えることを検証している。

以上の本論文における研究成果は、高い独創性を有しており、超電導研究の分野では非常に有用なものであり、また、システム量子工学の発展に寄与するところが大きいと判断される。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。