

審査の結果の要旨

氏名 坪井 雄一

本論文は「RE-Ba-Cu-O バルク超電導体の回転機への適用可能性に関する研究」と題し、永久磁石をはるかに凌ぐ高い密度の磁束を捕捉できる RE-Ba-Cu-O バルク超電導体 (RE : Y, Gd, Nd などの希土類系金属) をモータや発電機といった回転機の回転子に適用することを提案し、回転機適用時のバルク超電導体内の電磁的過渡現象と、電機子巻線によるバルク超電導回転子のパルス着磁特性を明らかにしたものであり、5章から構成される。

第1章は「序論」であり、回転機の高性能化の中での超電導回転機の位置付け、その中でも高温超電導体を用いた回転機の開発状況と特徴を整理している。さらに高温バルク超電導体を用いた回転機の特徴の概要を論じた上で、本研究の目的と論文構成について述べている。

第2章は「バルク超電導体を用いたモータと発電機」と題し、バルク超電導体を用いた回転機の特徴と基本特性を詳細に論じている。磁束ピン止め力による磁界整形作用を持つバルク超電導体を用いた回転機を、回転磁界の強さと超電導体の特性の関係から4種類に分類し、このうち本論文で扱う疑似永久磁石形同期機、ヒステリシスモータ、誘導モータについて、その定常特性を整理し、特に発電機についてはバルク超電導体の磁束保存特性により安定性の高い発電機を構成する可能性を示している。また、バルク超電導体を用いた回転機を疑似永久磁石形同期機として用いるために必要なバルク超電導体の着磁について、その方法として磁界中冷却による着磁とパルス着磁の研究現状を述べている。さらに、バルク超電導体を用いた回転機の容量、速度などの適用範囲について論じ、一例として、バルク超電導体のコンパクト性、高磁束密度特性を活かした1 MW 級、12,000 rpm の高速発電機のプロトタイプ設計を行い、達成が見込まれるサイズや効率を示している。

第3章は「バルク超電導体の回転機適用時の電磁的過渡現象」と題して、バルク超電導体に回転磁界が印加されたときの電磁的過渡現象を、ヒステリシスモータの過渡現象解析により、またバルク超電導体にパルスの磁界が印加されたときの現象をバルク超電導発電機の三相突発短絡試験により評価している。ヒステリシスモータに過負荷をかけて同期状態から停止させる同期脱出試験では、過渡状態ですべりが1に近いところにトルクのピークが発生していることを実験的に示し、同期から非同期状態へと移る過程においてバルク超電導体内で起きる現象を明らかにしている。そしてバルク超電導体の非線形電磁現象と温度特性を考慮した有限要素法による数値解析を行い、実験では観測できない超電導内部での電磁現象を視覚化等も含めて整理している。また、ヒステリシス

モータの拘束試験では、回転磁界が定常的に印加されたときに超電導体に発生する熱が、時間の経過とともにモータ特性に影響を与える過程を明らかにし、それが着磁された回転子に及ぼす影響を明らかにしている。パルス着磁を行ったバルク超電導体を回転界磁に用いた発電機の三相突発短絡実験では、実験結果から発電機特性を示す機器定数を求め、磁束保存特性を有するバルク超電導体による界磁磁束が発電機特性に及ぼす影響、および突発短絡のような大きな電流が誘導される過渡現象時にバルク超電導体が受ける影響を示している。

第4章は「電機子巻線によるバルク超電導体のパルス着磁」であり、回転子中のバルク超電導体を高磁束密度の界磁として機能させるために、バルク超電導体に強い着磁を施す方法として電機子巻線によるパルス着磁を提案し、その適用可能性を論じている。この方法により、初期着磁や再着磁の方法や設備が比較的容易になり、その実現はバルク超電導体の回転機への適用のための重要な技術であるが、回転機の電機子巻線としての設計とパルス着磁用コイルとしての要求条件を満足するよう最適化することが重要である。ここでは2極機を対象に、分布巻、集中巻の電機子構成による印加磁界の違いを整理し、これらを用いて回転子バルク超電導体を着磁する条件を把握するため、超電導体の電磁特性と温度特性を考慮した有限要素法により、着磁過程の電磁現象と捕捉磁界を明らかにしている。そして空隙電機子巻線とバルク超電導回転子からなる小型超電導回転機実験装置を用いて電機子巻線による回転子のパルス着磁を行い、電機子巻線によるパルス着磁を実証するとともに、数値解析の妥当性も示している。さらに、実用化に向けて大形バルク超電導体のパルス着磁を行うために検討すべき事項を数値解析に基づいて整理し、大型バルク超伝導体では特に抜熱が重要であることを示している。

第5章は「結論」であり、本研究の成果を総括している。

以上これを要するに、本論文は、優れた超電導特性を有する RE-Ba-Cu-O バルク超電導体の回転機界磁への適用に関して、小型モデルによる実験と電磁界-熱連成の計算機シミュレーションにより、回転磁界中のバルク超電導体内の電磁的過渡現象、および界磁磁束源形成のための電機子巻線によるパルス着磁特性を明らかにし、バルク超電導体を適用した回転機の可能性を示したものであり、電気工学、特に超電導工学に貢献するところが少なくない。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。