

## 審査の結果の要旨

氏名 長嶋 賢

本論文は「バルク超電導体の磁気浮上特性に関する基礎的研究」と題し、バルク超電導体の基本的な磁化特性と磁気浮上特性、および複数のバルク体と磁気回路を含むより複雑な系での電磁力特性と、それらの解析に適用可能な磁気エネルギーに基づく新たな手法に関するものであり、6章から構成される。

第1章は「序論」であり、超電導現象とその理論、高温超電導体、およびバルク超電導体とその応用について概要を整理し、さらに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」であり、本研究の対象であるバルク超電導体について、その基礎特性と作製方法、および応用可能性について整理している。

第3章は「バルク超電導体の磁化特性」であり、バルク超電導体に磁束を捕捉させて擬似永久磁石として使用する際の諸特性を、実験結果をもとに明らかにしている。捕捉磁場を増大させるには、臨界電流密度を向上させて磁場勾配を大きくする方法と、バルク体を大型化していく方法の2つがある。前者のためには、材料の微細構造の制御や、中性子照射等による有効な磁束ピン止め点の導入などがあり、バルク超電導体の温度を下げることで可能である。後者の材料の大型化による磁場の向上は、体積電流が流れるバルク超電導体に特徴的な方法である。ただし、どちらの方法も、不可逆磁場が捕捉磁場の最大値を制約してしまう。不可逆磁場は温度の低下とともに増大し、冷凍機などで低温に保持して利用するのも有効であるが、例えば窒素温度での応用を考えた場合には、Y系材料よりもSm系材料の方が不可逆磁場は大きく有利である。一方、バルク超電導体の捕捉磁場の限界は電磁的特性よりも機械的強度によって決まる。バルク超電導体は脆性材料であるので、着磁した時に材料に作用する引っ張り応力に対してはそれほど強くない。高磁場応用のためには、金属リングによってあらかじめ圧縮応力をかけることや、銀添加等を施して補強する必要がある。

第4章は「バルク超電導体の浮上特性と安定性」であり、Bi-2223線材を使用した高温超電導コイルの上でYBCOバルク超電導体を最大10cm浮上させ、コイル電流を変えることで浮上高さを制御する実験を実施し、その特性を明らかにした。さらに、磁気エネルギーに着目した新しい電磁力解析手法を提案し、それをを用いてバルク超電導体浮上時の水平方向安定性、ピッチング方向安定性、さらにバネ定数等を統一的に説明し、また、磁気浮上力にバルク体の形状と臨界電流密度特性が及ぼす影響を明らかにしている。バルク体重量当たりの浮上力を増大するには、扁平な形状のバルク体が有利であるが、浮上時の安定性を考えると、ある程度の厚み、あるいは捕捉磁場が必要となる。臨界電流密度も高い方が大きな浮上力は得られるが、ある程度を越えると飽和傾向を示し、印加磁場が同じ条件であれば、大型のバルク体ほど低い臨界電流密度で飽和に達する。印加磁場を高くすることで浮上力を増大する場合、磁場の増大にともなう臨界電流密度の低下と超電導電流侵入深さの増大が浮上力の低下を招くことを解析より明らかにし、バルク超電導

体の高磁場下での臨界電流密度が、このような応用で重要であることを示している。さらにバルク超電導体を複数配列することで、浮上力を増大させることが可能であることも明らかにした。

第5章は「バルク超電導体と磁石回路間に働く力」であり、永久磁石回路と超電導バルク体の複合体の間に働く電磁相互作用について記述している。超電導体が十分大きな臨界電流密度を有し、バルク超電導体が外部磁場変化の影響をほとんど受けない場合、電磁力密度は超電導体の形状にほとんど依存しない。一方、電磁力は永久磁石回路の構成に依存し、永久磁石が発生する磁場分布が電磁力を決定する最も重要な因子である。超電導体と永久磁石の間で大きな空隙を実現するためには、永久磁石回路は少ない磁極数と十分な実効的磁石厚さが必要となる。実効的磁石厚さは鉄のバックヨークの付加によっても増大できる。しかし、磁石面に対して接線方向の剛性を向上させるためには、極数を増やすのが効果的である。磁気浮上・磁気軸受システムで大きな載荷力密度を実現するためには、磁石厚さ、磁石幅、極数等を最適化することが重要であり、特に有効空隙がシステムの諸元を決定する際に最も重要である。本章の検討においても第4章で述べた解析手法を適用して電磁力の解析を行い、解析結果と実験結果のよい一致が得られ、解析手法の妥当性を検証することができた。

第6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、外部磁界中のバルク超電導体に作用する電磁力の解析手法として磁気エネルギーに基づく新しい方法を提案し、実験との比較を通じてその手法の有効性を検証するとともに、バルク超電導体に働く電磁力の発生メカニズムと安定性などの特性を解明し、超電導コイルや永久磁石などと組み合わせたバルク超電導体による磁気浮上システムへの適用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。