

氏 名	ジョン 鄭 憲 ジュン 俊
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2470 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 電 気 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	高温超伝導バルク回転子を適用した電動機の駆動機構に関する基礎的研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 大 澤 靖 治	教 授 島 崎 真 昭	助教授 星 野 勉
--------	----------------------	-------------	-----------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、高温超伝導バルク電動機における駆動機構に関して、小型電動機を対象とした実験的ならびに理論的研究成果をまとめたものであって、7章からなっている。

第1章は序論であり、高温超伝導材料ならびに同材料を適用した応用電力機器の開発状況を紹介している。特に、本研究対象である高温超伝導バルク電動機については、船舶推進用や液体燃料循環ポンプ用として精力的研究開発が行われているが、同電動機設計に際して必要不可欠であるバルク回転子の複雑な電磁現象と駆動特性の関係が明らかにされていない現状を指摘している。そして、上記特性を系統的に検討する本研究の重要性を示すと共に、各章の構成を述べている。

第2章では、試作したアキシアル型高温超伝導バルク電動機モデル機の構造について説明している。高温超伝導バルク回転子としては、磁束ピン止め特性と電動機特性の関係を調べるために2種類の材料(Bi-2223とSm-123)を適用している。一方、電機子としては、空隙磁束密度分布の空間高調波成分が電動機特性に及ぼす影響を調べるため、分布巻と集中巻の2種類を採用している。さらに、上記2種類の固定子を適用した空隙磁束密度分布を実測・解析し、一次側起磁力が小さい領域では、高温超伝導バルク回転子の磁束遮蔽特性によって空間高調波成分が増大することを明らかにしている。このことから、高温超伝導バルク電動機を運転する際は、空間高調波成分低減の観点より、バルク回転子内部に磁束をある程度侵入させるだけの起磁力が必要であることを示唆している。一方、集中巻固定子の測定結果では、バルク回転子への磁束侵入状態によらず5倍と7倍高調波成分が非常に大きな割合で含まれることを明らかにしている。

第3章では、試作した高温超伝導バルク電動機を使用し、回転磁界中におけるバルク回転子表面の電磁特性を実験的に調べている。まず、回転磁界中における磁気ヒステリシスループからBi-2223バルク回転子の中心到達磁界を評価している。また、温度低下に伴って強化された磁束ピン止め力が、中心到達磁界を境として、それ以下では磁束遮蔽特性を示し、またそれ以上では磁束捕捉特性を示すという興味深い特徴を見出している。一方、Sm-123バルク回転子においては、本論文の実験システムでは中心到達磁界に至らず、磁束ピン止め特性が極めて優れていることを示している。

第4章では、試作した高温超伝導バルク電動機の動作試験(無負荷試験、回転子拘束試験、負荷試験)を行い、その特性を精査するとともに、第3章の電磁特性との関係を議論している。まず、空隙磁束密度空間高調波成分と無負荷特性の関係から、従来型常伝導電動機と同様に次同期運転が起こることを確認し、高調波成分低減の必要性を示している。

次に、Bi-2223バルク電動機の拘束試験結果から中心到達磁界を評価するとともに、同磁界を閾値として、それ以下の磁界領域ではヒステリシストルクが支配的である一方、それ以上の磁界領域では磁束フローに伴う誘導トルクの影響が大きくなることを示している。また、電動機特性の周波数依存性について詳細な検討を行った結果、上記した中心到達磁界以下では磁束緩和現象(磁束クリープ)の影響が顕著に現れるのに対し、それ以上では磁束の支配的なダイナミクスが磁束フローに遷移した結果、周波数依存性が小さくなることを明らかにしている。即ち、高温超伝導バルク電動機の複雑な動作特性を議論する際に、中心到達磁界を指標とすることの重要性を明らかにしている。

また、Bi-2223 バルク電動機は 77K 程度の温度領域では誘導電動機特性を示すが、運転温度低下（磁束ピン止め力増強）に伴ってヒステリシス電動機特性へと回転機構が変化していくことを示している。一方、磁束ピン止め力の非常に強い Sm-123 バルク電動機では、77K において同期運転が可能であるだけでなく、捕捉磁束電動機として動作していることを突き止めている。

第 5 章では、等価回路を導入して高温超伝導バルク電動機特性を解析し、測定から評価することが困難である二次側ソリッド回転子の電氣的諸量を詳細に検討している。まず、固定子側の測定情報および幾つかの仮定に基づき、回転子拘束時の等価回路パラメータを決定すると共に、その妥当性を静止トルク特性測定結果との比較から検証している。次に、回転子拘束時の結果をもとに回転時の等価回路を導出し、同期時ならびに非同期時における回転子側諸量の特性を詳細に議論している。

第 6 章では、2 次側バルク回転子の電磁特性を 3 次元有限要素法によって解析し、その結果を可視化すると共に、バルク電動機の静止トルク発生機構との関係を明らかにしている。特に、静止トルク特性は、その立ち上がり時においてヒステリシストルクが支配的であり、同結果が第 4 章の実験結果と定量的に一致することを示している。さらに、有限要素法解析から評価した中心到達磁界は実験値とほぼ一致し、電動機特性評価における同パラメータの重要性を理論的に明らかにしている。

第 7 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高温超伝導バルク回転子を適用した電動機の駆動機構について、小型モデル機を対象とした実験的ならびに理論的検討を行ったものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 高温超伝導バルク電動機の開発状況を紹介するとともに、同バルク材の電磁特性と電動機特性の関係が詳細に調べられていない現状を指摘した。その上で、アキシアル型高温超伝導バルク電動機モデル機を設計・試作し、実使用条件下におけるバルク回転子の磁気ヒステリシス特性を詳細に調べ、中心到達磁界を評価パラメータとして複雑な電磁特性を実験的に明らかにした。また、高温超伝導バルク材料の磁束ピン止め力が、中心到達磁界を閾値として、それ以下の磁界領域では磁束遮蔽特性を示すのに対し、同磁界以上では磁束捕捉特性として振舞うという興味深い特性を見出した。
2. 上記電磁特性とバルク電動機運転特性との関係を明らかにした。特に、中心到達磁界を指標とした電動機特性の複雑な温度・周波数依存性を実験的に示した。また回転特性は、磁束ピン止め力の向上に伴い、誘導電動機特性からヒステリシス電動機を経て、さらには捕捉磁束電動機特性へと駆動機構が変化していくことを明らかにした。
3. 等価回路ならびに有限要素法を用い、上記した実験結果の理論的解析を行った。まず、等価回路解析によって、測定から評価することが困難である 2 次側ソリッド回転子の電氣的諸量を詳細に検討した。また、導出した等価回路の妥当性は、静止トルク特性の実験結果との比較から検証した。一方、2 次側バルク回転子の電磁特性を有限要素法によって解析し、その結果を可視化すると共に、バルク電動機の静止トルク発生機構との関係を明らかにした。さらに、有限要素法解析から評価した中心到達磁界は実験値とほぼ一致し、電動機特性評価における同パラメータの重要性を理論的に明らかにした。

以上、本論文は、高温超伝導バルク回転子の回転磁界中における電磁現象と、同回転子を適用した電動機の駆動機構を実験的・理論的に明らかにしたものであって、高温超伝導バルク電動機開発の進展に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 17 年 1 月 21 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。