

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 26 日現在

機関番号：54102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25889064

研究課題名(和文) 新型超伝導電機子の要素技術開発と回転機応用に関する研究

研究課題名(英文) Study of high-temperature superconducting stator for rotating machine

研究代表者

都築 啓太 (Tsuzuki, Keita)

鳥羽商船高等専門学校・制御情報工学科・助教

研究者番号：40713045

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は超伝導コイルの回転機における電機子応用をめざし、交流印加時における超伝導線材の実証実験と評価を行うことを目的とした。

まず、交流の大電流を通電するため電流増幅装置の開発、また超伝導線材に交流を印加し発生電圧を解析する特性評価システムの構築を完了した。超伝導コイルと磁性材料の配置を最適化した交流損失低減手法の実証と評価、信頼性の検証を行った。

また超伝導電機子の要素技術と取り入れた超伝導同期回転機のプロトタイプ概念設計を完了した。さらに実証試験が可能なアプリケーションの探索を行った。

研究成果の概要(英文)：The goal of this study is to establish fundamental technology to realize high-temperature superconducting (HTS) stator in the rotating machine. Evaluation and demonstration experiments of HTS coil was conducted under alternative current. The following task has accomplished in this project, (1)Development of current amplification device for energizing a large alternating current.(2)The construction of an evaluation system for HTS coil to analyzes the condition such as temperature, heat generation and magnetic field generated by alternating current.(3)By using element technologies of HTS armature, the conceptual design of a superconducting synchronous rotary machine was completed.

研究分野：超電導工学

キーワード：高温超電導 コイル 回転機 電機子 臨界電流 AC 鎖交磁束

1. 研究開始当初の背景

回転機とは電動機と発電機、両方を含めた総称である。超伝導電動機としてはメガワット級の船舶推進用電動機の研究開発が進められており CO₂ の排出低減だけでなく、航行の安定性向上、騒音・振動の軽減、操船性能の向上などの電気推進のメリットを生かす先端技術として注目されている。経済産業省イノベーション拠点立地支援事業などにより推進動力用モータ開発と陸上試験が進んでいる。また風力や海潮流などの再生可能エネルギーを利用した大型発電機にも応用することにより、従来機に比べて小型・軽量となることから設置・輸送コストの低減できる。

これまでの主眼とされてきた超伝導同期機の多くは超伝導線材の巻線や超伝導磁石を界磁として利用し、超伝導界磁を真空容器中で 30 K 付近まで冷却して励磁する構造であった。この傾向は諸外国の超伝導回転機においても同様である。(ドイツ Siemens:4 MW 機, 韓国 Doosan 5 MW 機他)。しかし、交流電流が流れる電機子においては超電導化が進まず、一般的な銅コイルで製作されている。常温に配置される銅コイルからの熱放射を抑制するために界磁子と電機子の間には熱放射シールド等が設けられる。その結果、電機子と界磁子の空隙(エアギャップ)が大きくなり、電機子領域での有効磁束の低減を招く。超伝導が電機子に用いられない主たる理由は変動磁界による交流損失であるが電機子への応用という課題は未解決である。

申請者の先行研究として、これまで超伝導線材を機器応用段階における工夫により特性向上が可能であることを確認している。超伝導コイルを直流電源により励磁した際の有効磁場磁性材料の相関に着目し、超伝導コイルに鎖交する磁束を制御して発熱量を 50% 以上低減する磁場転向法を提案している。そこで本研究では超伝導コイルの電機子応用機器、つまりは全超伝導回転機の実現を見据え、交流電流を用いた損失低減に関する基礎研究から新たな構造をもつ電機子の開発を試みた。先行研究である磁場転向法の交流応用に加え、要素技術の開発により超伝導の弱点である交流電流を磁場転向要素の配置や線材への工夫によって克服する。熱損失を抑制することに加えて、試作超伝導回転機の応用展開先の新たな発掘を行う。

2. 研究の目的

これまでの研究開発の経験を用いて超伝導線材の交流損失を低減し、超伝導線材の電機子応用を目的とする。将来的な全超伝導同期機の実現に向けた基盤確立と展開を視野に入れた研究を行う。本研究では以下に示す段階を経て電機子応用における超伝導線材

の限界を明らかにする。

フェーズ 1

低電圧・大電流の交流電流を可能にするための増幅装置の開発と製作を行う。

フェーズ 2

超伝導線材に交流を印加し発生電圧を解析する特性評価システムの構築を行う。

フェーズ 3

超伝導線材の電機子応用に向けた信頼性の検証を行い構成要素の最適化をおこなう。特性評価システムにおける実証評価をおこない通電限界を確認する。

フェーズ 4

新型電機子の成立性に関する考察をとりまとめ、小型試作機の概念設計と実証展開可能性検討を行う。

超伝導線材の電機子応用に関する信頼性が成立させることで界磁コイルと電機子コイルが超伝導材料で構成される全超伝導同期回転機の実用化への一歩となる。他に類を見ない構造を持った回転機の概念設計を完了し、さらなる実証試験機への足掛かりとする。

3. 研究の方法

本研究は交流印加時における超伝導線材の利用を目指した研究であり、実施項目として交流の大電流を通電するため交流電源の開発、また超伝導線材に交流を印加し発生電圧を解析する特性評価システムの構築、線材と磁性材料の相関を利用した交流損失低減のための磁場転向要素の開発と評価、電機子応用を見据えた信頼性の検証を行った。

またこれらの要素と取り入れた全超伝導同期回転機の試作機の設計構想を行い、実証試験が可能なアプリケーションの探索を行った。その方法を以下に示す。

(1) 交流電流増幅装置の作成

交流電源は高電圧・低電流仕様の製品が一般的に需要高い。しかし超伝導に交流を流すにあたり低電圧・大電流対応の交流電源が必要となる。交流電力の電圧の高さを電磁誘導により変換する交流増幅装置を新たに作製する。作製された装置は交流電源として測定回路に組み込む。

(2) 交流電流下における超伝導コイル評価システムの構築

交流電源装置と液体窒素を用いて 77 K における超伝導コイルの電流特性を測定し、評価を行うため、各種センサ・デバイスを用いた評価プログラムを作成しパソコン上で一元管理できるように整えた。超伝導線材の温度は周囲に貼り付けられた極低温対応の温度センサとモニタを用いて観測を行い、デジタイザを用いて発生電圧の記録システムの開発を行った。

(3) 超伝導線材の電機子応用に向けた信頼性の検証と最適化

構築したシステムを用いて、電機子応用を見据えた超伝導線材の製作と評価を行う。本研究では回転機に流れる電機子電流と同等、またはそれ以上に電流を超伝導線材に通電した際の挙動を観測することで、超伝導線材の評価を行った。

また超伝導線材を巻線して製作する小型試作コイルを作成し、磁性体要素の配置最適化を行う事による発熱量低減を試みる。試作コイルにおける超伝導を維持できる限界性能評価試験を行った。

(4) 試作超伝導回転機の応用展開に関する研究調査

実現可能な試作機の概念設計を開始する。将来的に数十～数百 kW 級の超伝導回転機の試作と実施試験の可能性を見据えた先行調査を行った。

4. 研究成果

(1) 交流大電流の流すための交流電流増幅装置の作成

商用電源から、電磁誘導を用いた電流増幅により超伝導コイルに大電流を通電するための交流電源を構築した。交流電源は高電圧・低電流仕様の製品が一般的に流通しているが、超伝導電機子の評価にあたり、低電圧・大電流対応の交流電源が必要となる。これらは製品としては存在しないため既存の製品を複数台並列接続するなどの工夫によりオーダーメイドで製作しなければならず、高価となり現実的でなかった。

本研究では既存の変圧器を超伝導コイルの交流評価に用いるために種々の改良を加え、通電電流の検出やクエンチ保護回路などを実装した交流電流増幅装置の開発を完了した。増幅装置単体での予備試験を行い、実効値 40A の交流を取り出すことができることを実証した。これ以上の電流値を確保するのは今後の課題である。

(2) 超伝導コイルの交流特性計測システムの構築

図 1 に特製評価システムの概念図を示す。本研究では極低温対応の温度センサ、磁場センサ、デジタイザを調達し、これらを統合するプログラムを作成することで評価システムを構築し、電流増幅装置と合わせて超伝導線材の交流電流条件下における超伝導線材の特性評価を行う環境を構築した。

超伝導線材の温度は周囲に貼り付けられた極低温対応の温度センサを用いて観測を行う。加えて極低温対応の磁場センサにより、超伝導コイルの発熱量増加に起因する鎖交磁束を検出することができる。またデジタイザにより超伝導コイル両端で発生電圧を検出することが可能である。

システムのインターフェースを図 2 に示す。これらのデータをパソコン上で一元管

理・記録できる計測システムの構築を完了した。

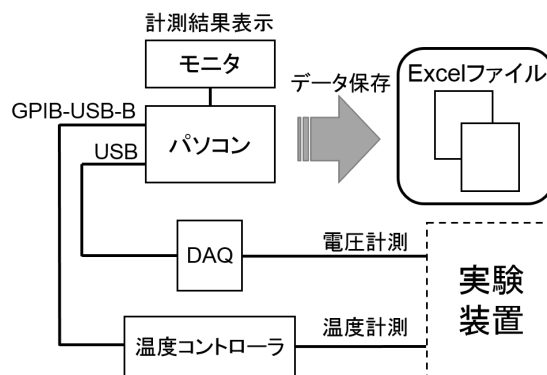


図 1 超電導コイル特性評価システム概念図

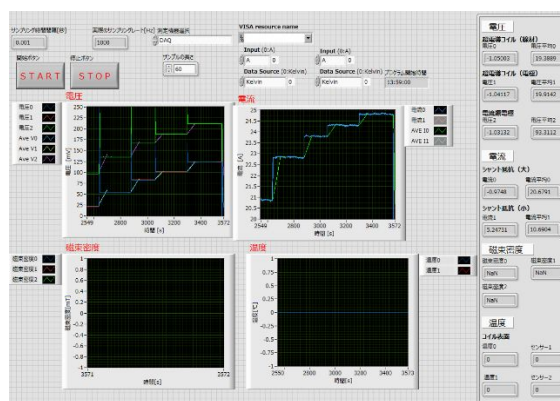


図 2 特性評価システムのインターフェース



図 3 試作小型超伝導コイル

(3) 超伝導線材の電機子応用に向けた信頼性の検証と最適化

図 3 に試作小型超伝導コイルの概観を示す。前述した交流電流増幅装置と評価システムを用いてと液体窒素を用いて極低温下における超伝導コイルの特製評価を完了した。

超伝導線材を巻線して製作する小型試作コイルを設計、作製した。構造は真空断念できる容器であるクライオスタットへの搭載を見据えて行った。

図 4 に評価試験結果の一例を示す。電機子応用に向けた交流電流印加状態における挙動の解析と検証を行うにあたり、従来の回転機における電機子電流以上の電流を超伝導線材に通電した際の挙動を観測することで、

超伝導線材の特性評価を行うことができた。

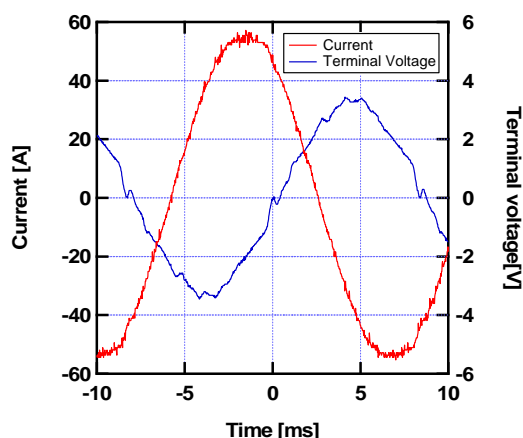


図4 (例) 試作超伝導コイルの
端子間電圧測定結果

(4) 試作超伝導回転機の応用展開に関する研究調査

前項までの研究結果を用いて実現可能な試作機概念設計を行った。

一例として、小型実証機を用いた応用を想定し、研究代表者の所属する研究機関のグループで試作・開発が行われているマイクロ水力発電に関する情報収集などを行った。水は大気に比較しても800倍以上も密度が高く、低い流速でも小さなタービンで大きなエネルギー回収を可能にする。国内には水流は小川や用水路など豊富にあり、制度上は200kW未満の発電設備で各種手続きが簡素化されるこの規模の高効率発電機の需要があり、ここに超伝導発電機の試作小型機での各要素技術の実証実験を検討できる。

超伝導回転機概念設計として、超伝導電機子と独自の界磁構造を組み合わせた新たな構造検討を行った。実現に向けたさらなる検証や知財の確保、資金獲得は今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計1件)

TSUZUKI Keita, IDA Tetsuya, IZUMI Mitsuru

"Study of Electrical Properties on Bi2223 HTS windings under AC/DC operation on Rotating Machine" (ポスター発表)

Abstract reference: A51110KT

〔その他〕

研究代表者ホームページ

<http://www.info.toba-cmt.ac.jp/~tsuzuki>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

都築 啓太 (TSUZUKI, Keita)

鳥羽商船高等専門学校・制御情報工学科・助教

研究者番号：40713045