

戦略的創造研究推進事業(ALCA)
技術領域(プロジェクト名)「超伝導システム(高効率
エネルギー機器システム実現のための先進的
産業用電気機器の開発)」
課題名「低炭素社会を支える輸送機器用
超伝導回転機システム」

終了報告書

研究開発期間 平成24年10月～令和2年3月

研究開発代表者:中村 武恒
(国)京都大学大学院工学研究科、
特定教授)

○報告書要約 (和文)

研究開発代表研究者 : 京都大学 特定教授 中村 武恒

研究開発課題名 : 低炭素社会を支える輸送機器用超伝導回転機システム

1. 研究開発の目的

本プロジェクトでは、京都大学発の高温超伝導誘導同期モータをベースにして、低炭素排出輸送機器の実現を目指す研究開発を行う。同モータは、かご形誘導機の簡易かつ安価な構造ながら、高効率な同期定常特性ならびに高トルク(出力)密度特性、過負荷に対するロバスト性(短時間定格の設定可能性)、急加減速に対する安定性(自律安定性)等、特筆すべき特性を有している。従って、まず上記特性を究極化する設計・製作技術の確立を目的にする。一方で、超伝導モータは極低温環境でしか運転できないため、モータ単独の開発は意味が無い。そこで、モータを駆動するインバータ、冷却構造、負荷特性、および冷凍機特性の研究開発も実施する。最終的に、それらコンポーネントを組み合わせたシステム検討を通して低炭素排出高温超伝導回転機システムの優位性を明確にし、輸送機器を中心とするグリーンイノベーションに資する基盤技術を確立する。

2. 研究開発の概要

(1)内容:

本プロジェクトでは、輸送機器用超伝導回転機システムの実現に向け、まず(a) 高温超伝導誘導同期回転機の研究開発、(b) 回転機制御技術開発、(c) 小型低熱侵入冷却構造・方式の開発、(d) 冷凍機の研究開発、の4テーマについて研究開発を実施した。そして、実用技術化プロジェクトに以降は、上記に加えて(e) 最適システム制御技術の研究開発を加え、モデルベースデザインを可能にするシステム検討を実施した。

(2)成果:

20 kW 級および 50 kW 級の高温超伝導回転機(固定子: 銅巻線)について回転・冷却試験を実施し、例えば軸シール構造の有効性や優れた回転特性を明確化した。例えば回転特性については、高効率特性、過負荷特性、急発進特性、可変速制御特性等について、実験だけでなく理論解析によっても再現し、実用のための設計・解析技術をほぼ確立した。また、トロイダル構造のビスマス系高温超伝導固定子巻線を適用した 50 kW 級全超伝導機も開発し、世界初の全超伝導負荷試験、軽負荷時可変速試験に成功した。さらに、希土類系固定子巻線の開発も進め、大電流量化や低損失化に関して見通しを立てることができた。一方で、冷却構造や冷凍機についても、実験ならびに解析を通して検討を進めることができた。最終的に、モデルベースデザインを実現するため、インバータ特性、非線形電圧方程式、運動方程式、熱等価回路、冷凍機特性を連成したマルチフィジックス解析プログラムを完成し、例えばミドルクラス自動車に相当するシステムについて、冷凍機消費電力を含めても 10 km/kWh を超える電費の可能性を見出すことに成功した。

(3)今後の展開:

本成果をもとに、今後は輸送機器ならびにその関連技術を中心に、高温超伝導回転機システムの実用化研究開発を実施する。即ち、京都大学が既に実施している企業共同研究を大型化して実用を目指すと共に、必要に応じて大型国家プロジェクトに積極的に応募していく。なお、本研究開発の推進には京都大学オープンイノベーション機構が参画しており、プロジェクト立案や知財戦略を担当している。

○Report summary (English)

Principal investigator: Kyoto University, Program-specific professor,
Taketsune Nakamura

R & D title: Study of superconducting rotating machine system for transportation equipment that supports a low-carbon society

1. Purpose of R & D

In this project, based on the high-temperature superconducting induction synchronous motor from Kyoto University, we carry out R&D aiming at the realization of low-carbon emission transportation equipment. Although the motor has a simple and inexpensive structure of a squirrel-cage induction machine, It has notable characteristics, e.g., high efficiency synchronous steady-state characteristics, high torque (output) density characteristics, robustness against overload (possibility of setting short-time rating), and rapid acceleration / deceleration stability (autonomous stability), etc. Therefore, the first purpose is to establish a design / manufacturing technology that maximizes the above characteristics. On the other hand, since superconducting motors can only be operated in cryogenic temperature environments, it is meaningless to develop a motor alone. Therefore, we also carry out research and development on the inverter that drives the motor, the cooling structure, the load characteristics, and the refrigerator characteristics. Finally, we clarify the advantage of low-carbon emission high-temperature superconducting rotating machine systems through system studies that combine the above components, and establish fundamental technologies that contribute to green innovation centered on transportation equipment.

2. Outline of R & D

(1) Contents:

In this project, in order to realize a superconducting rotating machine system for transportation equipment, the following research topics were studied: (a) R&D of high-temperature superconducting induction synchronous machine, (b) development of rotating machine control technology, (c) R&D of small and low heat intrusion cooling structure and (d) R&D of refrigerators. After the practical technology project, in addition to the above, (e) R&D of optimal system control technology was added, and a system study that enables model-based design was carried out.

(2) Achievements:

Rotation and cooling tests were conducted on 20 kW class and 50 kW class motors (stator: copper winding, rotor: BSCCO), and for example, the effectiveness of the shaft seal structure and excellent rotational characteristics were clarified. For example, high efficiency characteristics, overload characteristics, sudden start characteristics, variable speed control characteristics, etc. were clarified not only by experiments but also by theoretical analysis, and design and analysis techniques for practical use were almost established. We also developed a 50 kW class fully superconducting motor that applies a BSCCO superconducting stator winding with a toroidal structure, and succeeded in the world's first load test and variable speed control under light load. Furthermore, we proceeded with the development of REBCO stator windings, and were able to make prospects for increasing current capacity and reducing AC loss. On the other hand, we were able to proceed with the study of the cooling structure and refrigerator through experiments and analysis. Finally, in order to realize the model-based design, we completed a multi-physics analysis program that combines inverter characteristics, nonlinear voltage equations, equation of motion, thermal equivalent circuits, and refrigerator characteristics. , We succeeded in finding the possibility of power consumption rate of 10 km / kWh or more including the power consumption of the refrigerator.

(3) Future developments:

Based on this result, we will carry out practical research and development of high-temperature superconducting rotating machine systems, focusing on transportation equipment and related technologies. In other words, while aiming for practical use by enlarging the joint research conducted by Kyoto University, we will actively apply for large-scale national projects as needed. The Open Innovation Organization at Kyoto University participates in the promotion of this research and development, and is in charge of project planning and intellectual property strategy.