

戦略的創造研究推進事業(ALCA)
技術領域(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「REBCO 全超伝導回転機の開発」

終了報告書

研究開発期間 平成26年10月～令和 3年 9月

研究開発代表者:岩熊成卓
(九州大学 大学院システム情報科学研究所・教授)

○報告書要約（和文）

研究開発代表研究者：九州大学 教授 岩熊 成卓

研究開発課題名：REBCO 全超伝導回転機の開発

1. 研究開発の目的

我が国では、発電機で発生した電気エネルギーの半分以上を電動機により機械的動力として消費しており、回転機の超伝導化による高効率化は、現状の電力供給・需要形態におけるエネルギー変換効率を向上させ、多大な CO2 削減効果をもたらす。超伝導線材を回転機へ適用した場合、高効率化と同時に、無鉄心化と高電流・高磁界化を併せた小型・軽量化（高出力密度化）も実現でき、特に自動車・船舶・航空機等移動体に適用した場合には、省エネと軽量化による CO2 削減の重畳効果が大きい。

本研究は、我が国の電力の半分以上を消費する電動機と、その電力の大半を発電する発電機、さらには小型・軽量性を有する電気推進システムを指向する船舶・鉄道・航空機等移動体に着目し、これを全超伝導化することにより大幅な高効率化と小型・軽量化を図り、省エネを介して低炭素社会の実現を目指すものである。

2. 研究開発の概要

(1)内容:

本研究では、まず、実施者等が提唱・開発し、NEDOプロジェクトにおける3φ-66/6.9kV-2MVA超伝導変圧器の試作にも適用したREBCO超伝導線材の低交流損失化と大電流導体化を図る独自技術の回転機固定電機子巻線への適用性を検証した。これを回転界磁巻線と組み合わせて全超伝導同期機としての研究開発を行った。また、冷却システムに関しては、固定電機子巻線をサブクール液体窒素強制流冷却とし、回転界磁巻線は密封容器に設置し、その密封空間内にはヘリウムガスを充填させ、そのヘリウムガスの自己攪拌ガス対流冷却とする方式を提案し、試作による検証を行った。さらに、全超伝導回転機をより広範囲な分野に適用可能にするために、電機子巻線の巻線構造に低交流損失と大電流容量かつ分布巻を同時に実現する巻線構造について検討した。提案した巻線構造の原理検証を実験的に行った。九州大学グループは、本プロジェクトの全体計画を立案し、主として、全超伝導回転機の基本構造の考案とプロトタイプ機的设计・検証を行った。富士電機グループは各種検証装置の製作とプロトタイプ機的设计・試作を行った。鹿児島大学グループは、巻線構造の最適構造の検討とその特性評価を行った。

(2)成果:

電機子電流による自己磁界と回転子による回転磁界の二種類の磁界が印加される条件下において、実施者等が提唱・開発した低交流損失化手法を原理的に検証した。次に、冷却まで含めた全超伝導回転機の基本構造を提示し、実際に試作するとともに、その運転に成功した。さらに、電動機効率を算出する手順を提示し、一般産業機器適用を想定した2MW機を設計し、効率98%が達成できることを示した。最後に、電機子巻線の低交流損失化と大電流容量化を同時に満たすとともに分布巻を実現し得る巻線構造を提唱し、その原理検証に成功した。

(3)今後の展開:

本プロジェクト終了後は、NEDOプロに移行し、全超伝導回転機を推進システムとして搭載する電気推進航空機の実現を目指している。2018年度に「NEDO先導研究プログラム」に採択され（2018年6月—2019年5月）、引き続き2019年度に「NEDO航空機用先進システム実用化プロジェクト/次世代電動推進システム研究開発/高効率かつ高出力電動推進システム」（2019年5月—2024年3月）に採択された。現在、研究開発の途上にある。

○Report summary (English)

Principal investigator: Kyushu University Professor Masataka Iwakuma

R & D title: Development of REBCO Fully Superconducting Rotating Machine

1. Purpose of R & D

In Japan, more than half of the electrical energy generated by generators is consumed as mechanical power by electric motors. Enhancement of the efficiency of rotating machines by superconductivity will improve the energy conversion efficiency in the current electric power grid. It should contribute to a significant reduction in CO₂ emissions. When superconducting wires are applied to rotating machines, it is possible to achieve not only high efficiency but also small size and light weight (high power density) because of no iron core, high current and high magnetic field. Especially when applied superconducting rotating machines to mobile vehicles such as automobiles, ships and aircraft, the effect of CO₂ reduction by weight and energy saving is significant.

This research project focuses on electric motors, which consume more than half of the electric power in Japan, and generators, which generate most of the electricity, as well as on mobile vehicles such as ships, trains, and aircraft that are oriented toward compact and lightweight electric propulsion systems. The goal of this project is to realize a low-carbon society through energy conservation by significantly increasing efficiency and reducing size and weight by applying the fully superconducting rotating machine to these.

2. Outline of R & D

(1) Contents:

In this project, we first verified the applicability of the original technology for low AC loss and high current conductor of REBCO superconducting tape to armature winding as stator of a rotating machine. The technology has been proposed and developed by the project representative, etc., and applied and demonstrated to the prototype of 3φ-66/6.9kV-2MVA superconducting transformer in the NEDO project. In addition, the cooling configuration was studied. In the proposed cooling system, the armature winding is cooled by forced flow subcooled liquid nitrogen, while the rotating field winding is placed in the sealed vessel filled with helium gas and then cooled by self-agitating gas convection cooling. The prototype casing was fabricated and tested. Furthermore, for the application of the fully superconducting rotating machines to wider fields, a winding structure with low AC loss, large current capacity, and distributed winding all at once was investigated on the winding structure of the armature winding. The principle of the proposed winding structure was experimentally verified.

(2) Achievements:

Under the condition that two kinds of magnetic fields are applied, i.e., self-rotating-magnetic-field by the armature winding and rotating magnetic field by the rotor, the principle of the proposed low AC loss method was successfully verified. Next, the basic structure of a fully superconducting rotating machine including the cooling configuration was proposed, and the prototype was successfully fabricated and operated. In addition, a procedure for calculating the efficiency of an electric motor is presented, and a 2MW machine designed for general industrial applications is shown to have an efficiency of 98%. Finally, an armature winding structure with low AC loss, high current capacity, and distributed winding at the same time has been proposed and successfully verified the principle.

(3) Future developments:

After the completion of this project, we have moved to the development of the electric propulsion aircrafts with fully superconducting rotating machines. In FY 2018, our proposal was selected for the NEDO Leading Research Program (June 2018-May 2019), and in FY 2019, it was selected for the “NEDO Research and Development of Advanced Aircraft Systems for Practical Application / Research and Development of Next-generation electric propulsion system / High efficiency and high power electric propulsion system” (May 2019-March 2022). The project is currently underway.