

未来社会創造事業 探索加速型  
「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域  
年次報告書(探索研究期間)

令和3年度 研究開発年次報告書
--------------------

令和元年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名:雨宮 尚之]

[国立大学法人京都大学大学院工学研究科所属・教授]

[研究開発課題名:低交流損失と高ロバスト性を両立させる高温超伝導技術]

実施期間 : 令和3年4月1日～令和4年3月31日

## §1. 研究開発実施体制

(1) 研究開発代表者グループ(国立大学法人京都大学)

① 研究開発代表者:雨宮 尚之 (京都大学大学院工学研究科、教授)

② 研究項目

A. SCSC ケーブルによる POC「低交流損失と高ロバスト性の両立」の実現見通しの見極め

A-1. SCSC ケーブルによる交流損失低減効果の検証

A-2. SCSC ケーブルにおけるロバスト性向上効果の検証

B. 低交流損失と高ロバスト性の両立設計を可能とする大規模数値解析技術の構築

B-1. 交流損失評価のための数値電磁界解析の大規模化

B-2. ロバスト性評価のための熱-電磁界連成解析技術の構築

## §2. 研究開発成果の概要

高温超伝導線は電気機器の高効率化・軽量化・コンパクト化に役立ち、カーボンニュートラルに貢献する。本研究開発は、交流で用いたときに発生する交流損失の低減と常伝導転移に対するロバスト性を両立できる高温超伝導導体の実現を目的とするものである。薄膜高温超伝導線をマルチフィラメント化して交流損失を低減し、銅を複合することによりロバスト性を高め、さらに、スパイラル形状に巻くことによりフィラメント間の電磁結合を抑制する SCSC ケーブルと呼ばれる超伝導導体の研究開発を進めている。

マルチフィラメント薄膜高温超伝導線をコアのまわりに巻いた単層スパイラル導体の磁化損失を測定し、コア径、フィラメント幅、線幅、銅層厚さなどが損失特性に与える影響を明らかにした。線幅 2 mm、フィラメント幅 0.2 mm、銅層厚さ(片面) 10  $\mu\text{m}$  の線を直径 3 mm のコアに巻くことにより、直線形状の標準的な幅 4 mm の薄膜超伝導線に比べて交流損失を約 20 分の 1 に低減するという成果を得た。さらに、線の常伝導転移時におけるコアへの電流分流、一部のフィラメントが局所的に常伝導転移した時の銅層を介した超伝導状態を保持したフィラメントへの電流分流を実験的に確認した。これは、SCSC ケーブルの常伝導転移に対するロバスト性を示す成果である。

複数層から構成される SCSC ケーブルを設計し、大規模数値電磁界解析により、直線状 SCSC ケーブルの磁化損失の磁界振幅及び磁界周波数に対する依存性を調べた。また、SCSC ケーブルで巻かれたレーストラックコイルの一部に対応する 410 万自由度の SCSC ケーブルの電磁界解析を行い、交流損失分布を明らかにした。また、SCSC ケーブルのロバスト性について研究するために、線幅方向・長手方向の温度分布を考慮した二次元熱解析モデルと超伝導層と銅分流通層をモデル化した電気回路網モデルを組み合わせ、銅分流通層複合マルチフィラメント線単線の熱-電磁界連成解析技術を構築した。さらに、銅コアへの電流分流および熱伝達のモデル化手法について検討した。

【代表的な原著論文情報】

- [1] N. Amemiya, M. Shigemasa, A. Takahashi, N. Wang, Y. Sogabe, S. Yamano, and H. Sakamoto, “Effective reduction of magnetisation losses in copper-plated multifilament coated conductors using spiral geometry,” *Superconductor Science and Technology*, Vol. 35, No. 2, Art. No. 025003, 2022.
- [2] M. Shigemasa, Y. Sogabe, N. Wang, A. Takahashi, and N. Amemiya, “Impact of copper thickness, conductor width, and number of striations on coupling loss characteristics of copper-plated multifilament-coated conductors,” *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol. 32, No. 2, Art. No. 8200112, 2022.
- [3] X. Luo, Y. Zhao, Y. Sogabe, H. Sakamoto, S. Yamano, and N. Amemiya, “Thermal runaway of conduction-cooled monofilament and multifilament coated conductors,” *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol. 32, No. 4, Art. No. 6600609, 2022.