分割型高温超伝導マグネット用機械的エッジジョイントの接合抵抗の導体構造・温度磁場依存性評価

Evaluation of conductor structure, temperature, and magnetic field dependence of joint resistance in mechanical edge joint for remountable high-temperature superconducting magnet

*鈴木 和也 [1]，伊藤 悟 [1]，橋爪秀利 [1]
[1] 東北大学

核融合炉用分割型高温超伝導マグネットへの適用が想定される接合法である、機械的エッジジョイントの接合抵抗の導体構造・温度磁場依存性を抵抗要素の温度磁場依存性に基づき数値解析によって評価した。また本結果に基づき、低抵抗接合が可能な導体構造について議論した。

キーワード：高温超伝導導体，超伝導マグネット，機械的接合，接合抵抗評価

1. 緒言

核融合炉における巨大かつ複雑な超伝導マグネットの製造を容易にするため、マグネットを分割製造し、組み立てて使用する分割型高温超伝導マグネットが提案されている[1]。設計実現のためには、低接合抵抗を達成できる高温超伝導導体の接合法の開発が必要である。先行研究[2,3]では、超伝導導体の側面同士を接合させる、機械的エッジジョイント[2]の接合抵抗の低減方法が検討されてきた。一方で、ヘリカル型核融合炉 FFHR-d1 の最大外部磁場は 11.8 T[4]であるが、機械的エッジジョイントにおける接合抵抗の温度磁場依存性については明らかにされていない。そこで本研究では、接合抵抗の温度磁場依存性を数値解析によって評価し、得られた結果に基づき接合抵抗の低減方法について検討した。

2. 数値解析手法

商用有限要素法ソフトウェア COMSOL Multiphysics を使用し、二次元静電場解析を行った。銅ジャケット内に 50 枚の REBCO 線材(12 mm 幅)と銅テープを交互に積層し、はんだ含侵で固定した導体の機械的エッジジョイントをモデル化した。温度・磁場に加え、先行研究[3]と同様に銅テープ厚さをパラメータとした。境界条件として与えた電位差 5 μV と二次元解析モデル全体のジュール損失(W/m)から、単位接合長あたりの抵抗値(Ωm)を求め、それを想定する接合長(500 mm)で割ることで接合抵抗(Ω)を評価した。

3. 数値解析結果

温度 20 K、接合長 500 mm、磁気抵抗を等方的に与えた条件での接合抵抗と導体内に積層した銅テープの厚さの関係を図 1 に示す。本結果より磁場 12 T において、目標抵抗値を超えていることがわかる。銅テープ厚さを増やすことで接合抵抗の低減が期待できる[2,3]が、曲げひずみの制約上 310 μm 以上は増やすことができない。磁気抵抗効果の異方性を考慮し、コイル内磁場分布と電流経路を踏まえての低接合抵抗可能な構造の検討も進めており、詳細は発表当日に報告する。

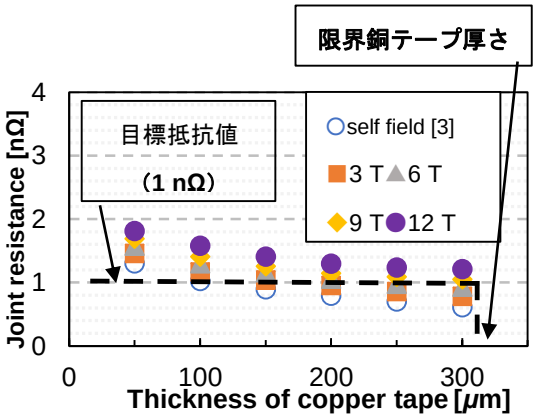

図 1 接合抵抗―磁場依存性特性

参考文献

[1] H. Hashizume et al., Fusion Eng Des., 89, 2241-2245, (2014)

[2] S. Ito et al., IEEE Trans Plasma Sci., 40, 1446-1452, (2012)

[3] S. Sato et al., J. Phys.: Conf. Ser., 1559, 012110, (2020)

[4] S. Ito et al., IEEE Trans Appl. Supercond., 26, 4201510, (2016)

*Kazuya Suzuki[1], Satoshi Ito[1] and Hidetoshi Hashizume[1]
[1]Tohoku Univ.