

| | | | |
|------|------------------------------|----|------|
| 学生番号 | 18676119 | 氏名 | 張 睿哲 |
| 論文題目 | 有限要素法によるクラックを有する超伝導接合の臨界電流特性 | | |

1. 研究背景

1987年に $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO)が発見されて以来、線材化の工夫がなされ、イットリウム系高温超伝導線材 (Coated Conductor; CC) は実用的なレベルまで開発が進めている。CCは臨界電流値(I_c)が高く、 I_c の高磁場での劣化が低く、また良好な機械的特性および妥当なコストのため、各種応用機器への適用が期待されている。超伝導線材は現在数百メートル単位でしか製造できないため、高温超伝導ケーブルを直流送電に利用する場合には、線材同士を低抵抗で接合し、長距離での送電に対応させる必要がある。これらを実現するためには、CC間の接合技術が必要不可欠であるため、超伝導接続技術の開発が進められている。

本研究では、超伝導薄膜接合及びクラックにおける電気特性を明らかにするため、有限要素法 (simulation tool: JMAG-Designer18.0, COMSOL Multiphysics®) を用いて接合を数値シミュレーションし、超伝導接合の際の電気特性を調査した。また、臨界電流を復活する補強方法を検討した。

2. 実験方法

本研究では、電気特性に対する有限要素法計算のために、超伝導薄膜接合は厚さ $1\ \mu\text{m}$ の YBCO 超伝導体を二本上下重ねて構成されている。また Fig. 1 に示すように、接合部に力を受けると、クラックが容易に発生する。本解析では、接合部の機械特性の結果より、クラックを有するモデルを作成した。モデルの左から、電流を流し、有限要素法を用いて計算し、接合部の電気特性と電流密度分布を明らかにした。なお臨界電流密度の磁界依存性(J_c - B 特性)は YBCO の実験結果を用いた。



Fig. 1 超伝導接合(左)とクラックモデル(右)

補強方法に関しては、クラックの上ではんだ接合を用いて臨界電流を復活しようと考えた。Fig. 2 に示すように、赤い線で囲まれた部分ではんだ層である。はんだ層の電気抵抗率が $1.4 \times 10^{-7}\ \Omega \cdot \text{m}$ を使用するため、電流がはんだ層に流れにくいと考えている。それを解決するため、はんだの上にもう一層の超伝導薄膜を加えている。有限要素法を使うことにより、このように複雑な形状のモデルでも、簡単に計算できる。

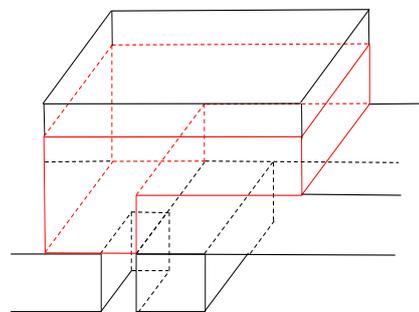


Fig. 2 はんだ補強モデル

3. 実験結果及び考察

Fig. 3 にはんだを用いて補強するモデルで解析し電気特性の結果を示す。クラックの長さと同膜幅の比率を40%であり、40% crack と表示している。黒い線は no crack、つまりクラックが発生していない場合の電気特性である。青い線はクラックが発生する時の電気特性である。例としては40% crack の場合、流れる電流は大体臨界電流の60%である。この結果より、クラック比率によって臨界電流が大幅に減少していることが分かった。

また、緑の線と赤い線ははんだ補強後の電気特性である。緑の線で示すのははんだ厚さが $30\ \mu\text{m}$ であり、電気抵抗が大きいため、補強の効果が弱い。赤い線は厚さ $2\ \mu\text{m}$ の時であり、電気抵抗が下がることで、補強の効果が大幅に向上されることが分かった。

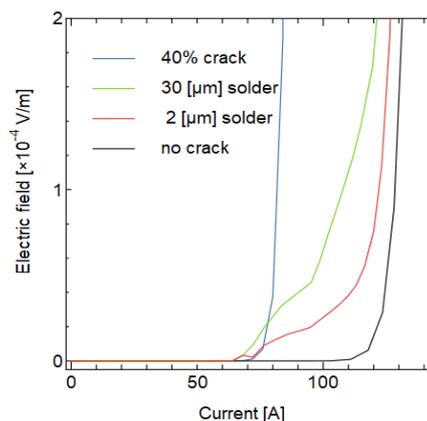


Fig. 3 はんだ補強の電気特性

4. 研究業績

R. Zhang et al.: "Evaluation of Critical Current in Superconducting Junction with Crack Using Finite Element Method" 32nd INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUPERCONDUCTIVITY, Kyoto, December 3, 2019