

学生番号	15232029	氏名	木下 雄士
論文題目	有限要素法による超伝導接合の電氣的・機械的特性の評価		

1. はじめに

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)や、第二世代希土類バリウム銅酸化物被覆導体は実用的なレベルまで開発が進み、第二世代高温超伝導線材と呼ばれている。超伝導ケーブルを利用した送電の場合、線材は現在数百メートル単位でしか製造できないため、実現させるため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。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、超高磁場NMR/MRIや送電ケーブルなどの各種応用機器への適用が期待されている。これらを実現するためには、線材間の接合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。接合により、通常の超伝導線材とは異なる電流密度分布・磁界分布などが表れると考えられ、それらの把握は応用機器の設計にあたり必要不可欠である。そこで本研究では、超伝導線材の接合部における電気特性および機械特性を明らかにするため、有限要素法を用いて接合をシミュレーションし、超伝導接合およびはんだなどの常伝導接合における電氣的・機械的特性を評価した。

2. 解析方法

本研究では、電気特性に対する計算のために、有限要素法ソフトJMAGを使用した。超伝導線材は厚さ $100\ \mu\text{m}$ の銅板と $1\ \mu\text{m}$ のYBCO超伝導層で構成されているとし、厚さ $50\ \mu\text{m}$ のはんだで接合した場合のモデルを作成し、モデルの左から電流を流し(Fig.1(a))、有限要素法を用いて計算することで、断面の電流密度分布を明らかにした。また、Fig.1(b)に示すように、はんだに穴を開けた場合の計算も同様に行った。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[1]。また、機械特性の解析のため、COMSOL Multiphysics®を使用し、電気特性の解析と同様に有限要素法を用いて解析を行った。線材接合のモデルに対して力をかけ、様々なかけられる力による応力の分布の違いを計算した。

3. 結果と考察

Fig. 1にJMAGで解析した電流密度の結果を示す。(a)ははんだをつけたときの結果であり、電流密度が超伝導層に集中していると考えられる。(b)ははんだに穴を開けた場合の結果であるが、Fig. 2(b)からは穴による電流密度分布への影響はあまり見られなかった。

Fig. 2にCOMSOLで解析した応力分布の結果を示す。Fig. 2に示されるように、接合面の頂点近傍に応力が集中している。このように、有限要素法を用いて特性を評価することができた。

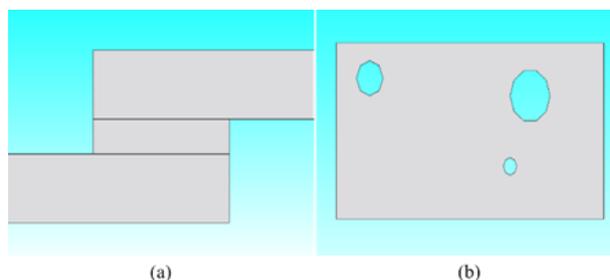


Fig. 1 はんだを用いた接合のシミュレーションモデル

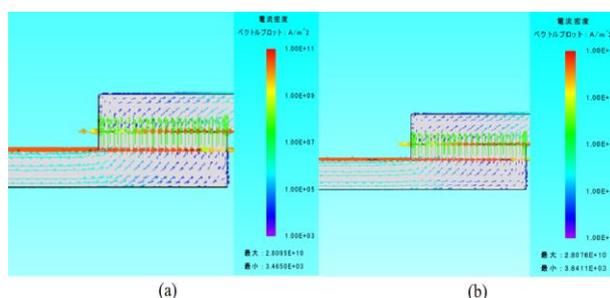


Fig. 2 はんだを介した接合による電流密度の解析結果

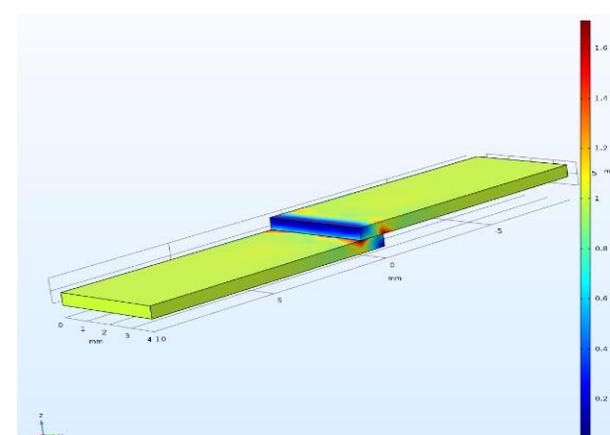


Fig. 3 接合における応力の解析結果

4. 参考文献

[1] W. Zhai et al, Cryst. Growth Des. (2015) 15 907 – 914

5. 研究業績

木下雄士ほか、“有限要素法を用いた超伝導線材接合の電氣的・機械的特性の評価”、平成29年度応用物理学会九州支部学術講演(2018)、9Cp-5