

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

Evaluation electronic and mechanical characteristics of joined superconducting wire using finite element method

九工大情¹, 鉄道総研², [○]木下 雄士¹, 張 睿哲¹, 小田部 莊司¹,
赤坂 友幸², 石原 篤², 富田 優²

Kyushu Inst. of Tech.¹, Railway Technical Research Inst.², [○]Yushi Kinoshita¹, Ruizhe Zhang¹,
Edmund Soji Otabe¹, Tomoyuki Akasaka², Atsushi Ishihara², Masaru Tomita²
E-mail: kinoshita@aquarius10.cse.kyutech.ac.jp

1. はじめに

超伝導線材は臨界電流値 (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 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[1-4]。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。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、超伝導接合における電氣的・機械的特性を評価した。

2. 計算手法

本研究では、電気特性に対する計算のために、JMAG を使用した。超伝導線材は厚さ 100 μm の銅板と 1 μm の YBCO 超伝導体で構成されているとし、厚さ 50 μm のはんだで接合した場合のモデルを作成し(Fig. 1(a))、モデルの左から電流を流し、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 (E - J 特性)は、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ の実験結果を用いた[5]。また、機械特性の解析のため、COMSOL Multiphysics®を使用し、超伝導線材を接合し、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

Fig. 2 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、電流密度が超伝導層に集中しているのがわかる。(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. 3 は COMSOL で解析した応力分布の結果を示す。Fig. 3 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電氣的・力学的特性を評価することができた。

4. 謝辞

本研究は JST 未来社会創造事業、JPMJMI17A2 の支援を受けて実施したものである。

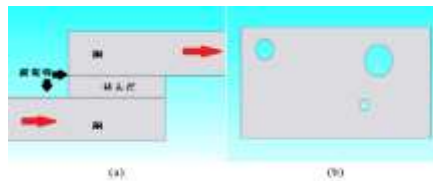


Fig. 1: Joining models of superconducting wires

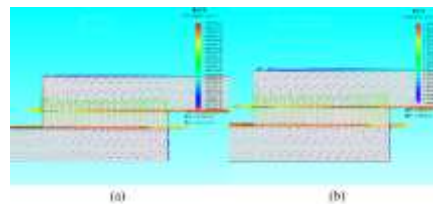


Fig. 2: Current density distribution of Fig. 1

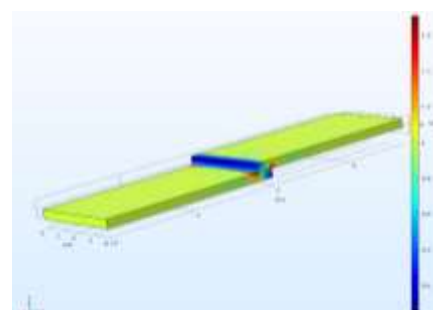


Fig. 3: Stress distribution of joined superconductors

参考文献

- [1] Y. J. Park et al.: NPG Asia Mater., Vol.6 (2014) e98
- [2] X. Jin, et al.: Supercond. Sci. Technol, Vol. 28 (2015) 075010
- [3] 古河電工 HP https://www.furukawa.co.jp/what/2016/kenkai_16042_7.htm
- [4] K. Ohki et al.: Supercond. Sci. Technol, Vol. 30 (2017) 115017.
- [5] W. Zhai, et al.: Crystal Growth & Design, Vol. 15 (2015) p. 907 – 914

コメントの追加 [ai1]: 色の違いについて、凡例を記載すべきです。