

令和4年度 卒業論文概要					
所属	物理情報工学科・電子物理工学コース				
学生番号	182C3017	学生氏名	今泉圭佑	指導教員	小田部 莊司
論文題目	有限要素法による接合に角度のある超伝導線材の通電特性の評価				

1. 緒言

ビスマス系超伝導体は1988年に日本の研究グループによって発見された超伝導材料である。中でも特に $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10-x}$ (Bi-2223)は110 K という高い転移温度や希土類元素を全く含まない等の理由からより低コストでの利用可能な超伝導材料であるとして注目された。そしてBi-2223の線材は、ケーブルや変圧器、高磁場マグネットなど幅広い分野での応用が期待されている。そのうち電力の輸送ケーブルへの応用の際には、線材同士を接合して長距離での送電に対応させる必要がある。[1]その場合、接合部には従来の超伝導線材とは異なる電流密度分布や磁界分布、応力分布などが表れることが考えられる。

本研究では、超伝導線材の接合部における電気特性を明らかにするため、有限要素法を用いて接合部の数値計算をおこない、臨界電流等の通電特性について評価した。

2. 解析方法

解析に用いた超伝導線材は、銀層と超伝導体のBi-2223で構成されている。本研究では、超伝導体の電気特性についてBeanモデルを用いて計算をおこなった。

作成したモデルはFig. 1に示すように、超伝導体部分は黄土色の部分で幅3.5 mm 厚さ200 μm の線材であり、外側接合部は銀層、超伝導線材は銀層を含めて幅4 mm、厚さ300 μm である。また、臨界電流密度は $2.4 \times 10^8 \text{ A/m}^2$ であるため、臨界電流は168 Aである。

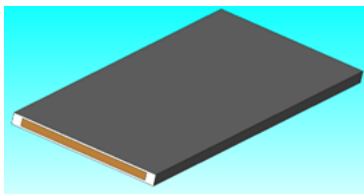


Fig. 1 Model of Bi-2223 superconducting wire

3. 結果と考察

3. 1. 角度がある接合の電気特性

初めに実際の現場のような高い精度での接合ができない場合を想定して、線材の接合に角度があるモデルについて考えた。計算に用いた線材モデルはFig. 2のように線材

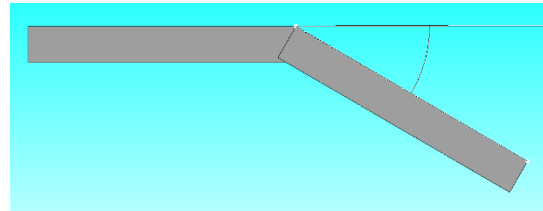


Fig. 2 Wire rod model with a 30° angle of joining

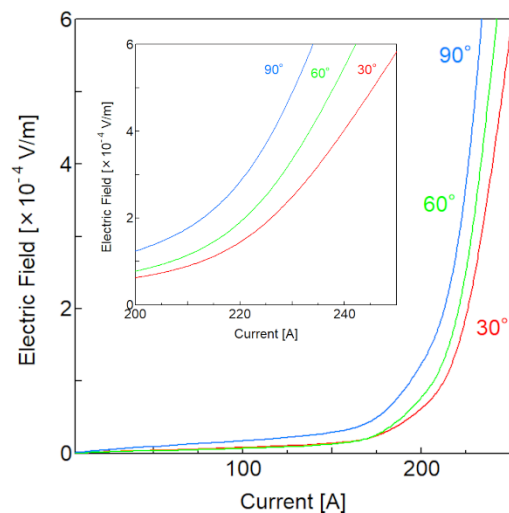


Fig. 3 I - E characteristic diagram of angled wires

の接合に角度がつくようにしており、接合のなす角度はそれぞれ30°、60°、90°とした。そして、これら3種類のモデルに関して電気特性の計算をおこなった結果をFig. 3のような I - E 特性の図にまとめた。Fig. 3を見ると、接合の角度が大きくなるにしたがって臨界電流は小さくなることが読み取れる。

しかし、ここで計算に用いたモデルは接合の角度が大きくなるにしたがって線材の接触面積が小さくなっている。そのため接合の角度の他に線材同士の接触面積も電気特性に影響を与えていることが考えられる。

そこで接触面積が一定となるように角度をつけたFig. 4のようなモデルを作製して、同様の条件で電気特性の計算をおこなった。そして、それによって得られた結果をFig. 5のような I - E 特性の図にまとめた。

Fig. 5を見ると接合の角度は臨界電流に対してほとんど

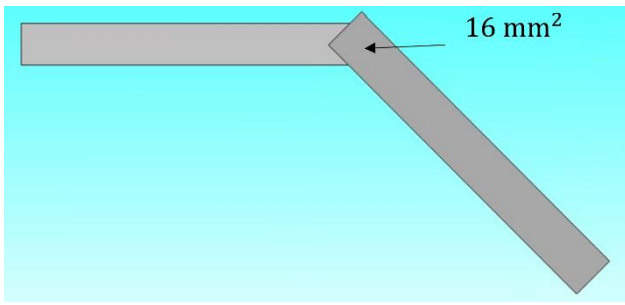


Fig. 4 Joining angled wires with constant area

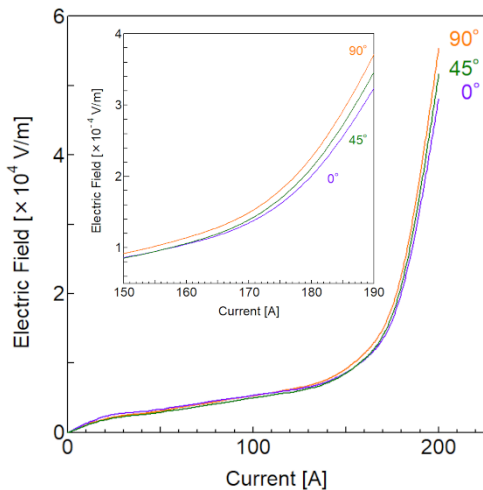


Fig. 5 I-E characteristic diagram of angled wires wire with constant contact area.

影響を与えないことが分かる。

3. 2. 線材にスキューがある場合の電気特性

次に実際のケーブルにより近づけた条件にするため、Fig. 6のようなモデルを作製した。このモデルは、真っ直ぐ接合した線材4枚を1組として90°ごとに配置したものである。このモデルには電流の流入側と流出側それぞれスキューと呼ばれる捻れをつけた。作製したモデルは流出側に10°のスキューがある場合、流入側に40°、流出側に30°のスキューがある場合、そしてどちらにもスキューが存在しない場合の3種類である。

そして、これらのモデルに電流を流して得られた結果から線材の持つスキューによって臨界電流はどのように変化するかを調査をおこなった。

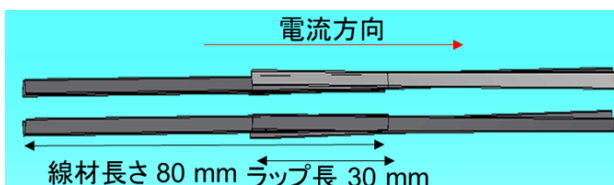


Fig. 4 Wire models with skewed wires.

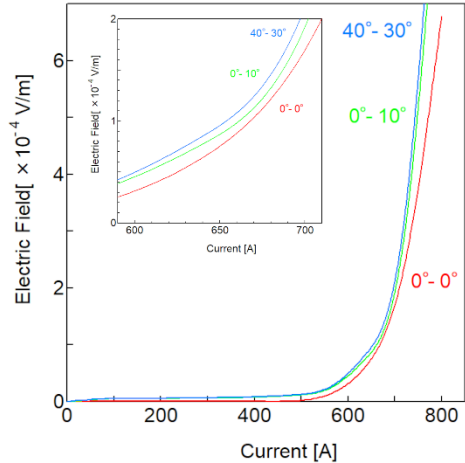


Fig. 7 I-E characteristic diagram of wires with skew.

Fig. 7のI-E特性の図を見ると線材の持つスキューの角度が大きくなるに従って、臨界電流の大きさは僅かに小さくなっていることが分かる。そして、線材のスキューの有無に関わらず、臨界電流付近(6.00~7.00×10⁻⁴ A)の電界の大きさには大きな差がないことが読み取れる。

これらのことから線材のスキューの有無は臨界電流に大きな影響を与えることはないと言える。

4. 結言

本研究では有限要素法を用いて接合した超伝導線材の通電特性について解析をおこなった。

今回の研究結果によって、超伝導ケーブルを用いた長距離送電の実現にあたって課題となる接合の角度や線材の持つスキューが電気特性に与える影響について詳しく知ることができた。中でも特に、接合の角度や線材の持つスキューが電気特性にほとんど影響を与えないことは、Bi-2223の電力輸送ケーブルへの応用において大きな意味を持つ。

研究業績

今泉 圭佑ほか、”有限要素法による接合した超伝導線材の臨界電流特性の評価”、2022年度応用物理学会九州支部学術講演会、27Ca-7

参考文献

[1] 佐藤 謙一、”ビスマス系(Bi2223)高温超電導線と応用製品の最近の進歩”、2007、低温工学 42 巻 10 号、p. 338