

学生番号	13232077	氏名	宮島悠
論文題目	縦磁界効果を利用した RE 系コート線材 3 層直流超伝導ケーブルの通電特性		

1. はじめに

超伝導体を用いたケーブルは、直流電流を流すことで送電ロスを低減することができる。このケーブルの電流容量は用いられる超伝導体の臨界電流によって決定され、この特性を向上させることによって、ケーブルの電流容量も増加させることができる。一方で、超伝導体に流れる電流 I に平行に磁界 B を加える縦磁界下では、臨界電流を増加させることができる [1]。この臨界電流の増加を縦磁界効果と呼ぶが、現在、この効果を利用した直流超伝導ケーブルが提案されている [2]。このケーブルは外から磁界を加えるのではなく、線材が電流通電時に生じる自己磁界を縦磁界状態になるように巻き線を工夫する。

本研究では、短尺線材の縦磁界下での RE コート線材の臨界電流密度 J_c を用いて設計、製作された縦磁界直流超伝導ケーブルの内 3 層の通電試験を液体窒素中で行い、ケーブルの臨界電流 I_c を評価した。得られた測定結果と設計値を比較し、このケーブルの有効性について調べた。

2. 超伝導ケーブル設計と実験方法

ケーブルに用いられていた超伝導線材は Superpower 社製の 2 mm 幅の REBCO コート線材 (SCS2050-CF) である。この線材の縦磁界下での臨界電流密度を用いて、直流 3 層超伝導ケーブルの内側層を設計した。超伝導線材は、半径 5 mm のフォーマーの軸に対して 10° の角度で巻き付けた。理論設計上は 3 層において、層間で数度の角度をつける必要があるが、ここでは、3 層共 10° で固定した。表 1 に作製されたケーブルのサイズを示す。このケーブルは古河電気工業株式会社にて作製された。

このケーブルの通電試験を液体窒素 (77.3 K) 中で行った。測定は、直流四端子法で、6000 A 通電可能な直流電源を用いた。今回のケーブルは内 3 層構造のみなので、外部から縦磁界を加える必要がある。この磁界 B_{ext} は液体窒素中で稼働できる Bi2223 超伝導コイルで加え、0~0.5 T の範囲で測定した。なお、ケーブルの臨界電流 I_c は電圧端子間に $V_c = 1.0 \times 10^{-5}$ V の電圧が生じる点で定義した。

また、各層に均一に電流を流す必要があることから、各層の通電特性も評価した。ただし、正式な電圧端子が設けられているのは最外層の 3 層目のみなので、1 層、2 層の電圧は電流リード部間で測定した。そのため、各層の臨界電流 I_{c1} (第 1 層)、 I_{c2} (第 2 層)、 I_{c3} (第 3 層) は電流リードの接触抵抗を考慮して、 $V_c = 5.0 \times 10^{-4}$ V で定義した。

表 1: 3 層直流超伝導ケーブルのサイズ

フォーマー	銅管 外径 8.0 mm
ケーブルの外径	13.6 mm
全長	700 mm

3. 結果及び考察

図 1 に磁界がケーブルの線材に縦磁界となる場合と非縦磁界となる場合の、3 層直流超伝導ケーブル臨界電流 I_c の磁界依存性を示す。●が実験結果で、□が設計値を表す。実験値及び設計値ともに

$B_{ext} = 0.1$ T で I_c のピークが得られ、一致はよい。一方で、全体的に設計値の方が 250 A 程度大きい。これは各層に流れている電流が均一に流れていない可能性がある。

図 2 に各々の層の臨界電流 I_{c1} 、 I_{c2} 、 I_{c3} の磁界依存性を示す。各層の磁界依存性は殆ど同じであるが、各層の臨界電流に 100 A 程度の違いがある。1 層に比べて、2、3 層は超伝導線材が 1 本多く使用されているので、100 A 程度の違いが生じる。ただし、2、3 層目でも 100 A 程度の違いが確認できる。これは、用いた線材の臨界電流のばらつきによることが予想され、今回の設計では短尺線材の J_c が使用線材ですべて同じと仮定を行っているが、 J_c の値が多少ばらついた可能性がある。

しかしながら、今回の実験で、縦磁界下での直流超伝導ケーブルの有効性を確認することはできた。

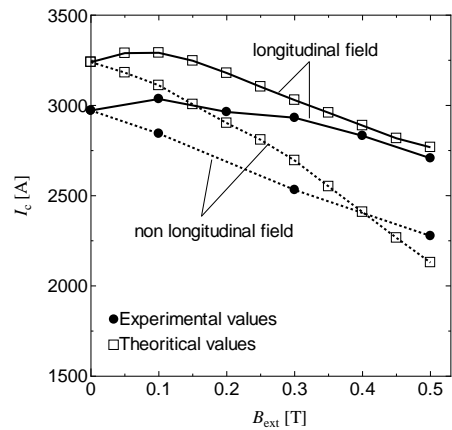


図 1: 3 層直流超伝導ケーブルの I_c - B_{ext} 特性

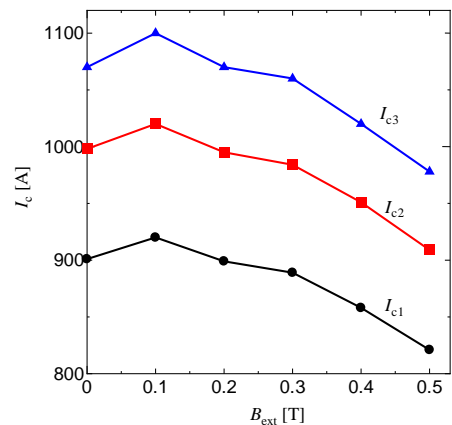


図 2: 各層の臨界電流の磁界依存性

4. 参考文献

[1] S. T. Sekula, R. W. Boom, C. J. Bergeron : Appl. Phys. Lett. 2(1963)102
 [2] T.Matsushita, Supercond. Sci. Technol. 25 (2012) 125009