

学生番号	12232051	氏名	田邊 裕也
論文題目	縦磁界効果を用いた超伝導直流電力ケーブルの 繰り返し近似による電磁界解析		

1. はじめに

超伝導体に流れる電流に対して磁界を平行に印加した状態のことを縦磁界状態と呼ぶ。この状態において、臨界電流密度 J_c は電流と磁界が垂直である横磁界状態と比べ大幅に増加する。この効果のことを縦磁界効果と言う。この特性を超伝導電力ケーブルに用いることによって、線材の特性を改善することなく、電力ケーブル全体の輸送電流 I_t を増加させることができると期待される。超伝導電力ケーブルに縦磁界を印加する方法として、線材を同方向にツイストして巻き付ける方法が考えられる[1]。

縦磁界効果における J_c の大幅な増加は Nb-Ti 等の金属超伝導体では報告されるものの、希土類超伝導体 (RE) では報告されなかった。しかし、超伝導体の成膜技術に進展により、希土類超伝導体でも縦磁界効果による J_c の大幅な増加が報告されてきている。

今回は、縦磁界効果による J_c の大幅な増加が確認された。単結晶基板に人工ピンを導入した Y 系超伝導体試料と市販の RE 系コート線材の縦磁界状態、横磁界状態の J_c - B 特性の近似式を用いて、電力ケーブルの電磁界を計算した。それらによって、3—12 層の縦磁界ケーブルにおける I_t を求めた。また、電力ケーブルの軸に対して線材を平行に巻き付けたと仮定した、縦磁界効果による I_t の増加がない超伝導電力ケーブル場合の輸送電流 I_0 も求めた。これらを比較することによって縦磁界ケーブルの有効性について調べた。

2. 理論計算

縦磁界ケーブルの寸法を表 1 に示す。内側導体において縦磁界効果を得るために各層に流す電流に角度 θ_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) とし、内側導体の最も外側である第 n 層目に流す電流の角度を θ_{max} とする。また、 $\theta_i = \theta_{max} \times (i - 1) / (n - 1)$ とする。

今回の計算方式として、 I_t が最大となるような θ_{max} を導出する必要があったため、モデル作成が容易で条件の自由度が高い繰り返し近似計算を用いた。

I_t が最大となるような θ_{max} を導出する過程は以下のようなになる。 θ_{max} を 1 から 90 までのある値とする。縦磁界状態、横磁界状態の J_c - B 特性の近似式から J_c を仮定し、それを基にケーブル内の臨界電流 J_c 、磁束密度 B 、電流と磁界のなす角 φ を導出する。 φ と J_c - B 特性の近似式から再び J_c を導出する。これを前に導出した J_c と比較し、値の差が 10^{-6} 以下となるまで計算を繰り返す。値の差が 10^{-6} 以下となったときの J_c より I_t を導出する。このとき、 θ_{max} が 1 から 90 までの I_t を導出することによって、 I_t が最大となるような θ_{max} を導出する。

単結晶基板試料とコート線材の内側導体の層数 n が

3—12 のときの I_t と θ_{max} を導出した。

3. 結果および考察

図 1 は単結晶基板試料とコート線材における輸送電流効率 $\eta = I_t/I_0$ と層数の関係を示す。どちらの結果も層数 n が増えると輸送効率が線型的に増加しているが、コート線材に比べ単結晶基板試料の方が η はより大きく増加している。また、12 層におけるコート線材の η は約 1.09 であるのに対して、単結晶基板試料の η は約 1.9 となっている。このことから、縦磁界ケーブルは縦磁界効果の大きい線材を用いることによって既存超伝導ケーブルの輸送電流を約 1.9 倍にする程の能力を持つと考えられる。したがって、大容量電力送電に縦磁界ケーブルは有効であることがわかる。

しかし、単結晶基板試料は単結晶基板上で作製されたもので、現段階ではコート線材上で単結晶基板試料の J_c - B 特性の再現がされていない。そのため、縦磁界ケーブルを用いて大容量電力送電をするには超伝導薄膜作製技術のより一層の向上が必要だと考えられる。

表 1: 縦磁界ケーブルの寸法

フォーマーの半 径[mm]	線材の厚さ [μ m]	超伝導層の 厚さ[μ m]
5.00	100	1.00

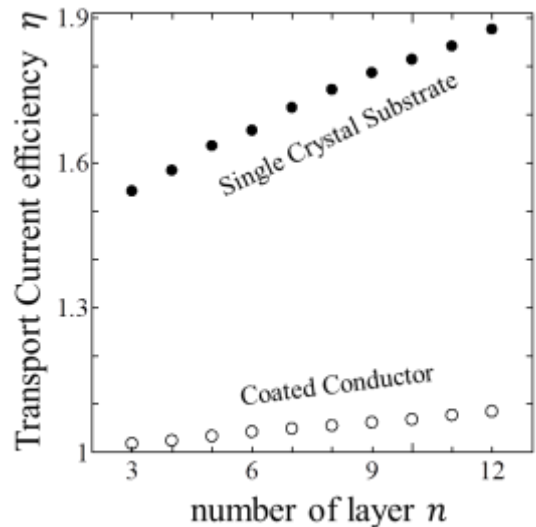


図 1: 単結晶基板試料 (Single Crystal Substrate) とコート線材 (Coated Conductor) における輸送電流効率 η と層数 n の関係

4. 参考文献

[1] T. Matsushita, M. Kiuchi and E.S. Otabe Supercond. Sci. Technol. 25 (2012) 125009.