

縦磁界効果を用いた 10kA 級超伝導直流ケーブルの設計

Design of 10kA class superconducting DC cable using longitudinal magnetic field effect

九工大情報工¹ 〇木下 雄士¹, 米中 友浩¹, 一木 悠人¹, 小田部 荘司¹, 松下 照男¹, 木内 勝¹
 Kyushu Inst. of Tech.¹ 〇Yushi Kinoshita¹, Tomohiro Yonenaka¹, Yuto Ichiki¹, Edmund Soji Otabe¹,
 Teruo Matsushita¹, Masaru Kiuchi¹ E-mail: kinoshita@aquarius10.cse.kyutech.ac.jp

1. はじめに

超伝導体は直流電気抵抗が無く、大容量の電流を流せることから直流電力ケーブルへの応用が期待される。一般に超伝導体に電流を流すと、自身の電流により磁界が生じ、臨界電流密度が減少する。そこで現在の超伝導ケーブルの多くが磁界の影響を抑えるような構造となっている。一方で我々は縦磁界効果を利用した超伝導ケーブルを提唱している。Fig. 1 のように内側の層と外側の層で構成し、ケーブルの巻き線角度を数度ずつ変えることで、全体で考えたときに電流と平行に磁界が生じるように設計する。これにより磁界が発生した際に臨界電流密度の減少を抑えられると期待できる。本研究では 10 kA 級の超伝導ケーブルを想定し、従来の磁界の影響を抑える巻き方と、縦磁界を発生させる巻き方でケーブルを設計した際の電流値を比較し、縦磁界ケーブルの優位性を調査した。

2. 計算方法

本研究では REBCO コート線材の J_c - B 特性をもとに 10 kA を超える直流ケーブルを設計し、従来の構造と縦磁界を発生させる構造でケーブル全体に流せる電流値を計算した。

内側から i 番目の超伝導層の中心からの距離を a_i 、巻き角度を θ_i 、臨界電流密度を J_{ci} として臨界電流は $I_i = 2\pi a_i J_{ci} t$ と与えられる。このとき、縦磁界は $B_{i\parallel} = \sum_{k=i+1}^n \frac{\mu_0 I_k \sin^2 \theta_k}{2\pi a_k \cos \theta_k} + B_e$ 、横磁界は $B_{i\perp} = \sum_{k=1}^{i-1} \frac{\mu_0 I_k \cos \theta_k}{2\pi a_i}$ となり、磁界の強さは $B_i = (B_{i\parallel}^2 + B_{i\perp}^2)^{1/2}$ 、線材方向からの角度は $\varphi_i = \theta_i - \tan^{-1} \frac{B_{i\perp}}{B_{i\parallel}}$ と与えられる。 B_e は外側のシールド層が作る縦磁界であり、シールド層の半径を a_s 、角度を θ_s 、輸送電流を I_c' とすると、 $B_e = \frac{\mu_0 I_c' \sin^2 \theta_s}{2\pi a_s \cos \theta_s} = \frac{\mu_0 I_c'}{2\pi a_s} \tan^2 \theta_s$ となる。これらの式を用いてケーブル全体の電流値を繰り返し近似で数値的に求めた。

3. 結果と考察

内径 30 mm、往復各 3 層のときのケーブルに流せる全電流の最大巻き角度依存性を Fig. 2 に示す。角度が増加すると線材の本数が減少するため電流値は減少する。巻き角度 30° での使用を想定すると従来の構造に比べて縦磁界ケーブルの電流値は 15% 程度高くなっており、優位であることが分かる。しかしながら 30° では 10 kA に満たなかったため、電流容量を増加するために往復各 4 層で計算した結果を Fig. 3 に示す。こちらは縦磁界ケーブルが 20% 程度高くなった。シールド層に流れる電流値が増えたことで縦磁界が強くなり、臨界電流密度が増加したと考えられる。

謝辞：この研究は科研費(19H00771)の助成を受けている。

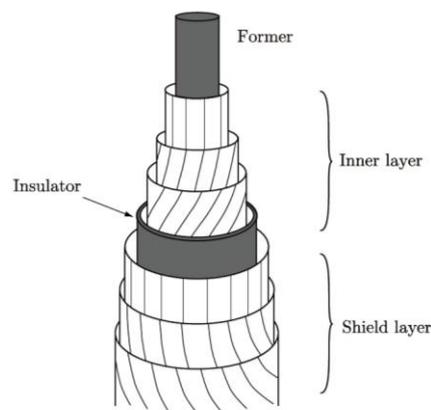


Fig. 1 Structure of superconducting DC cable using longitudinal magnetic field effect.

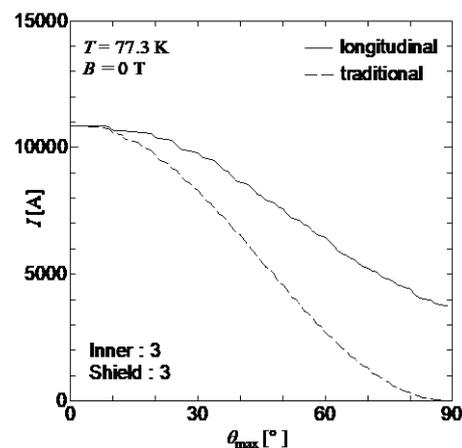


Fig. 2 Comparison of current value for 6 round-trip layers.

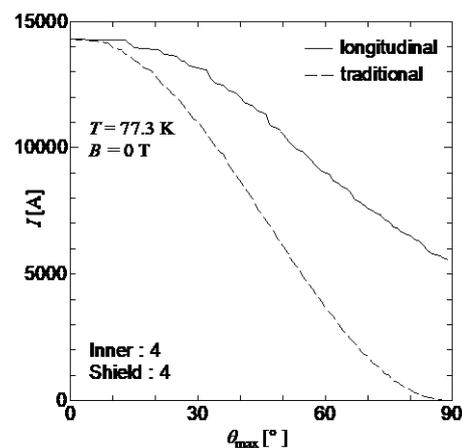


Fig. 3 Comparison of current value for 8 round-trip layers.