

学生番号	18676129	氏名	米中 友浩
論文題目	縦磁界効果を用いた 10kA 級超伝導直流電力ケーブルの設計		

1. 背景

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。

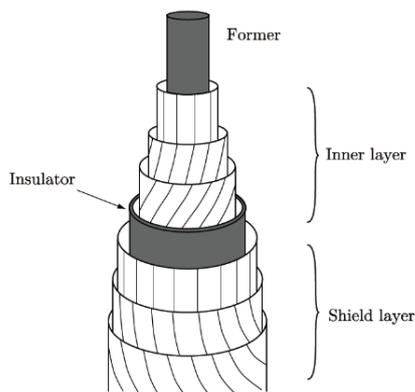


Fig. 1 Structure of superconducting DC cable using longitudinal magnetic field effect.

2. 研究目的

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。

3. 実験方法

REBCO コート線材の J_c - B 特性をもとにケーブルを設計し、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 $I_i = 2\pi a_i J_{ci} t$ で与えられる。このとき、縦磁界は $B_{i||} = \sum_{k=i+1}^n \frac{\mu_0 I_k \sin^2 \theta_k}{2\pi a_k \cos \theta_k} + B_e$ 、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 $B_i = (B_{i||}^2 + B_{i\perp}^2)^{1/2}$ 、線材方向からの角度は $\varphi_i = \theta_i - \tan^{-1}(B_{i\perp}/B_{i||})$ で与えられる。 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。

4. 実験結果及び考察

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巻き角度依存性を Fig. 2 に示す。前提として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。

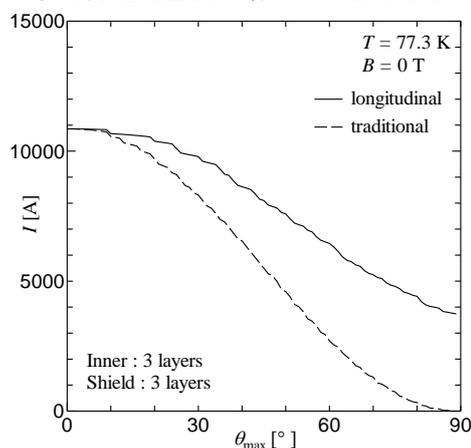


Fig. 2 Comparison of current value for 6 round-trip layers.

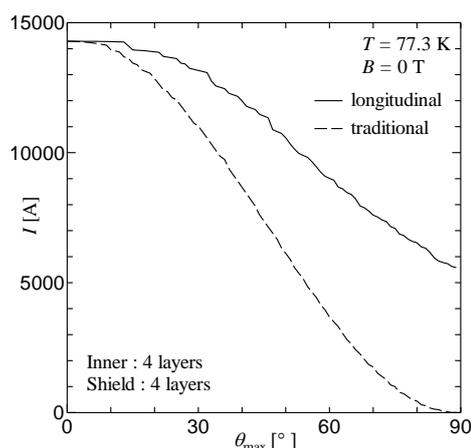


Fig. 3 Comparison of current value for 8 round-trip layers.

5. 研究業績

- 米中友浩, 村岡樹, 一木悠人, 他: 2019年 第80回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-PB2-32
- T. Yonenaka, T. Muraoka, Y. Ichiki, et al: The 32nd International Symposium on Superconductivity, APP4-1