

学生番号	19676111	氏名	木下 雄士
論文題目	縦磁界効果を用いた 10 kA 級超伝導直流電力ケーブルの設計製作および検証に関する研究		

1. 背景及び研究目的

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た。また計算の結果に基づき、縦磁界を利用したケーブルと従来のケーブルの両方について 2 m の 10 kA 級ケーブルを実際に作製し、測定した臨界電流特性から縦磁界ケーブルの優位性を調査した。

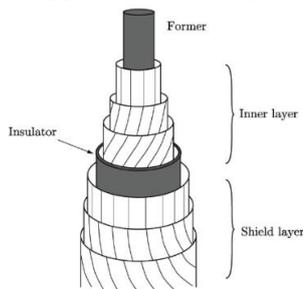


Fig. 1 Structure of superconducting DC cable using longitudinal magnetic field effect.

2. 実験方法

REBa₂Cu₃O_y(REBCO; RE=Rare Earth)系コート線材の J_c - B 特性をもとにケーブルを設計し、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、それぞれの層での縦磁界は $B_{\parallel} = \sum_{k=i+1}^n \frac{\mu_0 I_k \sin^2 \theta_k}{2\pi a_k \cos \theta_k}$ 、横磁界は $B_{\perp} = \sum_{k=1}^{i-1} \frac{\mu_0 I_k \cos \theta_k}{2\pi a_i}$ となり、磁界の強さは $B_i = (B_{\parallel}^2 + B_{\perp}^2)^{1/2}$ 、線材方向からの角度は $\varphi_i = \theta_i - \tan^{-1}(B_{\perp}/B_{\parallel})$ で与えられる。これらの式を用いてケーブル全体の電流値 I_c を繰り返し近似で数値的に求めた。

ケーブルの作製に関して、通電層とシールド層の両方について YBa₂Cu₃O_{7- δ} の線材を用い、最外層の傾きが 30° となるように段階的に角度をつけて線材を巻き付けた。四端子法を用いて、通電層のみに流した場合と通電層とシールド層を直列接続した場合について測定を行った。

3. 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(a) 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 18% 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. 2(b) に示す。こちらは縦磁界ケーブルが 19% 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。

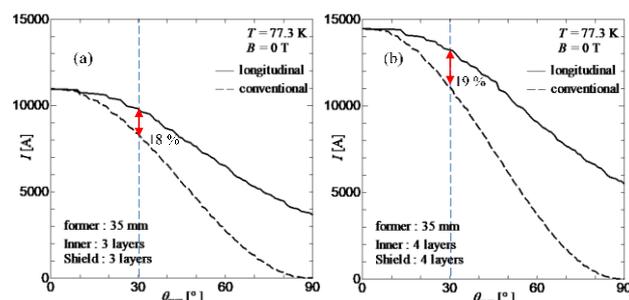


Fig. 2 θ_{\max} dependence of total current for (a) 3 layers in inner and shield layers, and (b) 4 layers in inner and shield layers.

実験結果と計算結果における I_c の比較を Table 1 に示す。結果が概ね一致していることから、実験とケーブルの設計における妥当性を表している。縦磁界効果により、通電層のみ・通電層とシールド層の直列接続の両方に関して電流が増加している。従来型と比べて、線材 1 本あたりでは 8.8%、ケーブル全体としては 18% の電流の増加が見られ、縦磁界効果を用いたケーブルの優位性を示すことができた。

Table 1 Comparison of experimental and theoretical results of I_c of inner layer

Cable type	Measurement	Experiment		Theoretical calculation	
		I_c [A]	I_c per tape [A]	I_c [A]	I_c per tape [A]
Longitudinal power cable	Only inner layer	12799	143.8	13057	146.7
	Inner-shield layer in series connection	13150	147.7	13222	148.6
Conventional power cable	Only inner layer	11251	137.2	11110	135.5
	Inner-shield layer in series connection	11139	135.8	11110	135.5

4. 研究業績

- 木下雄士, 米中友浩, 一木悠人, 他: 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 8a-Z27-1 他国内学会 3 件
- Y. Kinoshita, T. Yonenaka, *et al.*: The 33rd International Symposium on Superconductivity (2020), AP8-4
- Y. Kinoshita, *et al.*: 10th ACASC/ 2nd Asian-ICMC/ CSSJ Joint Conference, Okinawa Convention Center (2020), 8P-26
- Y. Kinoshita *et al.*: Journal of Physics: Conference Series 1590 (2020) 012023