

学生番号	14676104	氏名	大隈 翔悟
論文題目	限流器付き縦磁界超伝導直流ケーブルの最適化に関する研究		

1. はじめに

大容量で高効率な超伝導電力ケーブルを実現するためには、電気抵抗なしで流せる最大の電流である臨界電流 $I_c$ の特性向上が必要である。この $I_c$ 値の向上にはナノ制御の線材最適化が必要であるが、電流 $I$ の通電方向に磁界 $B$ を平行に加える縦磁界下にするだけでも $I_c$ を増加させることが出来る。現在、この縦磁界下での高い $I_c$ を利用した超伝導直流ケーブルの開発が行われている[1]。

一方で、このような大容量な電力ケーブルを敷設する際には、事故時に生じる過電流からケーブル及び末端を保護する限流器が必要になる。限流器はケーブル間の適所への配置や、本研究で用いるケーブル自体に限流機能を付加する方法がある。Fig. 1に、内側3層、外側3層の限流器付き縦磁界電力ケーブルの構造図を示す。内外の超伝導層の向きと逆向きに巻かれている銅層が限流器である。事故時に過電流がケーブルに加わると、この銅層に電流が流れ、縦磁界を減少させる方向に磁界が加わる。したがって、ケーブルの最大電流容量 $I_e$ は、縦磁界の減少と銅層への分流の2つの効果で大きく減少する[2]。しかし、この限流効果は、超伝導層の層数や超伝導層-銅層間の接続抵抗等により大きく変化することが予想される。

本研究では、限流器を付加した縦磁界ケーブルについて、層数と限流効果の関係や、実際に設計する場合の具体的な構造を数値解析によって調べ、この限流器の有効性を調べた。

2. 解析モデル

ここでは過電流が通電された際の限流効果を調べるために、過電流通電時の銅層への分流電流量 $I'$ を求める。ケーブルの全通電電流量を $I$ 、電流容量を $I_e$ とすると、銅層へ分流する電流 $\Delta I_0$ は

$$\Delta I_0 = I - I_e$$

である。銅層を流れる $\Delta I_0$ が作る磁界が $I_e$ を減少させ、このときの分流電流 $\Delta I_1$ は $\varepsilon = I_e(0)\alpha K_{dc}(\varepsilon < 1)$ とすると

$$\Delta I_1 = \Delta I_0 \varepsilon$$

と表される。ただし、 $K_{dc}$ は銅層の磁界定数、 $\alpha$ は層数に依存するパラメータである。ここで、ケーブルの電流容量 $I_e$ の縦磁界 $B$ の依存性を

$$I_e = (1 + \alpha B)I_e(0)$$

と仮定し、解析を行った。 $I_e(0)$ は初期状態の電流容量である。以上が繰り返し起こり、 $n$ 回目の分流電流 $\Delta I_n$ は

$$\Delta I_n = \Delta I_0 (I_e(0)\alpha K_{dc})^n$$

と表される。したがって、銅層へ流れる総電流量 $I'$ は

$$I' = \sum_{i=0}^n \Delta I_i = \Delta I_0 (1 + \varepsilon + \varepsilon^2 + \varepsilon^3 + \dots + \varepsilon^n) \approx \frac{\Delta I_0}{1 - \varepsilon}$$

となる。この分流電流により最終的なケーブルの電流容量 $I_{en}$ は

$$I_{en} = I - I'$$

となる。これらの関係を用いて、ケーブル層数と限流効果の関係性を調べた。

3. 結果および考察

ここでは、内層が1層の場合と6層の場合の限流効果について調べた。Fig. 2に過電流 $I/I_e(0)$ と電流容量の減少率 $I_{en}/I_e(0)$ の関係を示す。破線は限流器が無い場合を示す。この結果より限流器を付加することで、 $I_e$ を超える電流通電時に電流容量が減少しており、この限流器が有効であることが示された。またその限流効果は層数増加に伴って大きくなり、電流容量の2.5倍の電流が通電された場合、6層ケーブルでは5割以上の大きな限流効果が得られた。多層であるほど縦磁界効果の影響が強くなり、縦磁界の変化に伴う $I_e$ の増減も大きくなるためである。したがって、超伝導層数を増加させることで限流効果も大きくなることがわかった。

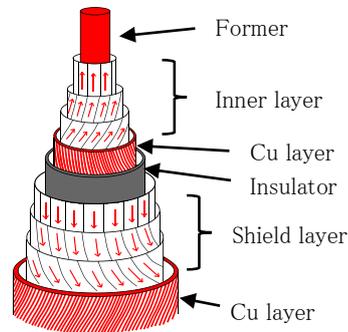


Fig.1: The structure of 3 layers superconducting cable with limiter

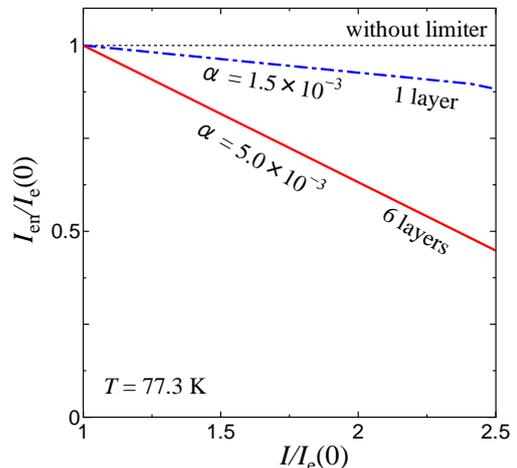


Fig.2: The decreasing rate of  $I_{en}$  vs. normalized overcurrent  $I$

参考文献

- [1] T. Matsushita, *et al.*: Superconductor Science and Technology, 25 (2012) 125009.
- [2] T. Matsushita, *et al.*: IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 25 (2015) 5401704.

研究業績

大隈ら:第 92 回 2015 年度秋季 低温工学・超電導学会, 2015, 姫路商工会議所