

学生番号	12674010	氏名	小松 伸二郎
論文題目	縦磁界効果を用いた高温超伝導直流電力ケーブルの有限要素法を用いた電磁界解析		

1. はじめに

PLD 法による希土類系超伝導コート線材は磁界中の臨界電流密度(J_c)が高いことから、電力機器を中心としてその応用研究が精力的に行われている。

超伝導線材に電流と磁界を平行に印加すると、局所的にローレンツ力の働かない状態になることが知られており、大幅な J_c の増加が報告されている。この増加は縦磁界効果と呼ばれる現象の一つである。この特性は超伝導直流電力ケーブルについても同様であり、このケーブルは長距離エネルギー伝送に適しているということが知られている。しかしその具体的な設計のために、ローレンツ力の働かない状態にするための超伝導線材の配置が重要な問題点となっている。

これまでの研究では、さまざまな超伝導線材の配置について解析解による近似計算での導出を行っているが、ケーブル構造が複雑なため正しいかどうか確かめる必要がある。本研究では、有限要素法(FEM)に基づく電磁場解析が可能な株式会社フォトン製のソフトウェアである PHOTO-Series を使用し、繰り返し近似による近似計算が正しいかどうか確かめることを目的とする。具体的には、ケーブル中心部に加えらる縦磁界と外側に加えらる横磁界の大きさを比較した。

2. 数値計算

解析モデルは導体を内側に三層、外側に三層配置する。外側の導体は横磁界を打ち消すための層であり、また外側の層は内側に縦磁界を加える役割も果たす。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 ($i = 1,2,3$) をつける。内側導体の最も外側である第三層目に流す電流の角度を θ_{max} とする。このとき θ_i と θ_{max} は、 $\theta_i = \theta_{max} \times (i - 1)/(n - 1)$ の関係がある。外側の層にはリターン電流を流すため、電流方向は内側の層と反対方向になる。今回、各層の導体の厚さを $40 \mu\text{m}$ とした。また、内側導体の三層のみに、超伝導線材の磁界依存性を考慮した電流をそれぞれ印加した。ケーブル中心から内側導体の最内層までの距離は 10 mm とする。各層に流す電流の角度を変え FEM で計算を行い、繰り返し近似による近似計算と比較を行い正確さの確認を行った。また、外部磁界の大きさは 0 とする。

3. 結果および考察

Fig. 1, 2 にそれぞれ角度 θ_{max} に対する中心の

縦磁界と横磁界の大きさを示す。外部磁界が 0 の下で、 $0^\circ \leq \theta_{max} \leq 80^\circ$ のとき縦磁界と横磁界の大きさはそれぞれ繰り返し近似による導出値と一致する結果が得られた。この結果は、通電する電流の大きさを変更しても一致している。

ケーブル構造が複雑なため縦磁界・横磁界の大きさを求める計算式も複雑な式が必要になると感じられるが、FEM による結果より、それぞれの磁界の大きさは電磁気的基本的な式を基にした繰り返し近似計算により求めることが可能であるということが分かった。また今回は、内側・外側三層ずつのモデルの計算を行っているが、さらに多層にした場合でも、結果は同じように磁界の足し合わせであることから一致するものと考えられる。

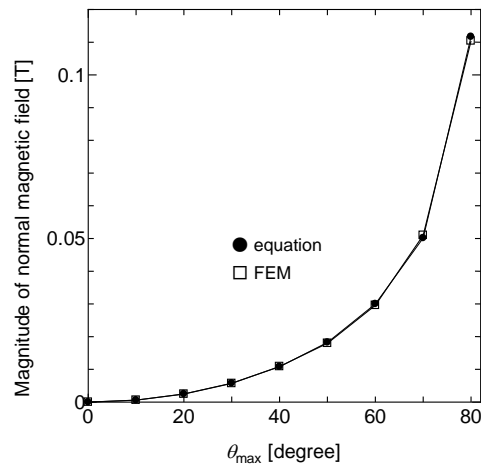


Fig. 1 Magnitude of normal magnetic field in each θ_{max} .

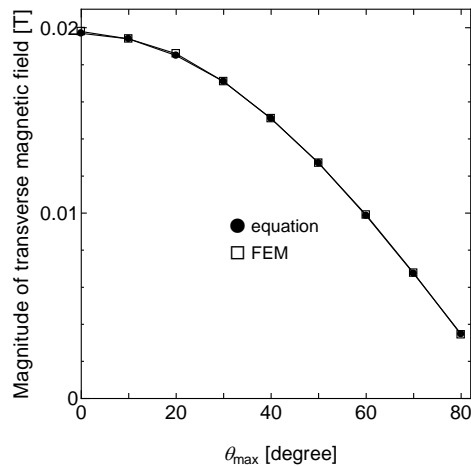


Fig. 2 Magnitude of transverse magnetic field in each θ_{max} .