

学生番号	13674004	氏名	江藤 航介
論文題目	有限要素法を用いた高温超伝導直流電力ケーブルの 縦磁界下における電磁界解析		

1. はじめに

超伝導体に磁界と平行に電流を流した状態を縦磁界といい、垂直な場合とは異なり磁束線に対して Lorentz 力が働かないため、臨界電流密度 J_c が通常の横磁界の場合に比べ大幅に増加する。これを縦磁界効果という。

超伝導線材の電力ケーブルにおいて、縦磁界効果を用いることで線材そのものの特性を改善しなくても J_c の増加が期待できる。このことから縦磁界効果を用いた超伝導線材の直流電力ケーブルの研究が行われている。縦磁界効果を利用した超伝導直流電力ケーブルはケーブルの構造が複雑であり、その具体的な設計のために超伝導コート線材を巻き付ける角度が重要な問題点となっている。これまで、巻きつける角度を変えたときのケーブルの輸送電流容量を求めるために、繰り返し近似を用いて数値計算を行ってきた。しかし、繰り返し近似による近似計算の結果が正しいかどうかを確かめる必要がある。

そこで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 を使用し数値解析を行う。繰り返し近似による近似計算の結果を FEM による計算結果と比較することで、繰り返し近似による近似計算の正確性を確認する。

2. 数値計算

FEM の解析モデルは導体を内側と外側にそれぞれ超伝導線材の層を 3 層ずつ配置したものと 6 層ずつ配置したものを作製した。ケーブルの内側導体に縦方向の平行な磁界を加える必要があるため、外側導体を流れる電流によって内側導体に縦磁界が与えられるよう導体の超伝導線材をツイストする。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 ($i = 1, 2, \dots$) をつける。内側導体の最も外側の層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とする。各層の導体の厚さを 40 μm とした。ケーブル中心から内側導体と外側導体の最内層までの距離はそれぞれ 10 mm, 20 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 と Fig. 2 に内側外側 3 層と内側外側 6 層のケーブルでそれぞれの 1 層目から 3 層目に加えられる磁界の大きさの θ_{max} 依存性を示す。外部磁界の大きさは 0 の状態においてそれぞれの角度 θ_{max} において繰り返し近似による値と FEM によって得られた値が一致する結果になった。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できると分かった。また、内側外側 3 層のモデルから層数を増やした場合も繰り返し近似による値と FEM によって得られた値が一致したことから、ケーブルのモデルをより複雑にした場合においても繰り返し近似計算によって磁界の値を求めることができると考えられる。

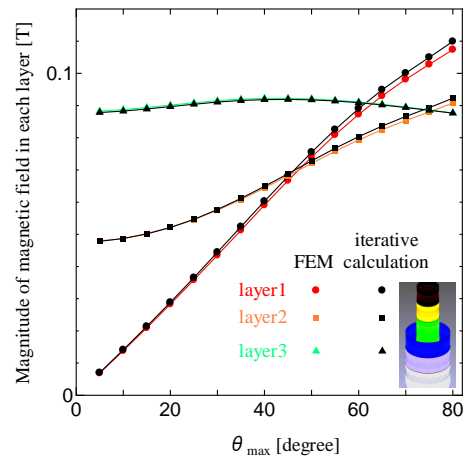


Fig. 1 内側外側 3 層のケーブルに加えられる磁界の大きさの θ_{max} 依存性

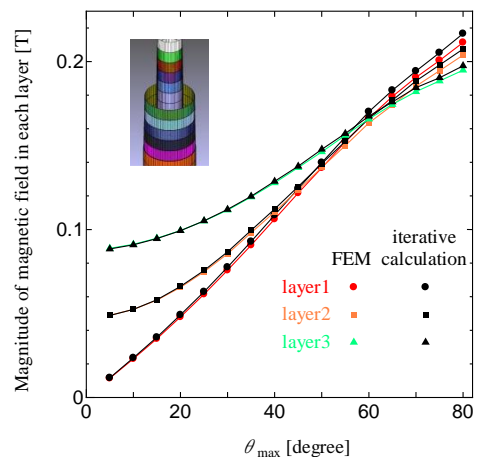


Fig. 2 内側外側 6 層のケーブルに加えられる磁界の大きさの θ_{max} 依存性