

学生番号	09232013	氏名	江藤航介
論文題目	リップル電流を印加した場合の超伝導体に生じる交流損失の FEM による評価		

背景と目的

超伝導体は直流定常状態では臨界電流以下の電流をほぼ無損失で流すことができる。そこで超伝導体を送電ケーブルに応用する場合、直流送電での利用が考えられるが、既設の送電システムの交流電流から直流電流に変換した場合わずかに脈動(リップル)のある直流電流となる。しかし、超伝導体にリップル電流を印加すると交流損失が生じる。冷却システムの効率化のためにはどれだけ損失が生じるか把握する必要がある。円柱超伝導体の場合の交流損失は有限要素法(FEM)による計算は理論とよく一致することが確認され、FEMでの計算は有用であるとされている[1]。そのため、今回の研究ではストリップの形状の超伝導体モデルをプログラム上で作製し、リップル成分を正弦波の交流電流と見立て、直流電流に交流電流を重畳した電流を流した場合の計算を行い、交流損失を求め理論との比較を行う。

実験

フォトン社製の PHOTO-Series を使用して、FEM に基づく解析により交流損失を求める。断面図が3 mm × 2 μm のストリップ超伝導体の図1のように4分の1にしたモデルを作製し解析を行う。解析条件はそれぞれ、臨界電流密度： $J_c = 1.0 \times 10^{10} \text{ A/m}^2$ 、臨界電流： $I_c = 60 \text{ A}$ 、周波数： $f = 1 \text{ Hz}$ と設定した。

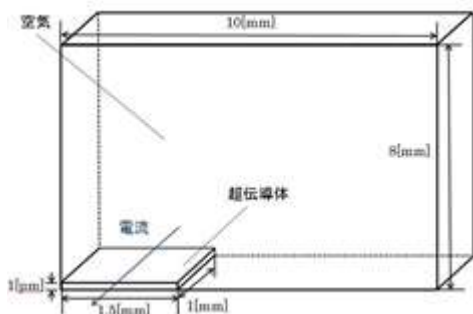


図 1 : 解析モデル

結果と考察

実験結果を図 2 に示す。交流損失 W は I_c のときの損失 W_c で正規化し、振幅 I_m は I_c で正規化した。赤線は Norris の理論値で、黒線は $I_{DC} = 0 \text{ A}$ のときの FEM による値である。磁束の侵入の深さはとても小さくなり要素において十分なアスペクト比のモデルを作ることが難しいことから、FEM においては小さな交流振幅の計算は困難である。よって、 $I_{DC} = 0 \text{ A}$ のときの FEM による値は Norris の理論値より大きな値となるが、FEM のモデルの要素数に関しては、要素数がより多いほど $I_{DC} = 0 \text{ A}$ の時の値と Norris の理論値が近づくと考えられる。

次にリップル電流の損失においては、磁束は広い面からだけでなく主にストリップの端から侵入するので、磁束の侵入は端において磁場の大きさに依存する。そのため、 $I_{DC} = 0 \text{ A}$ のときより交流損失は I_{DC} が増加するにつれて大きくなる。

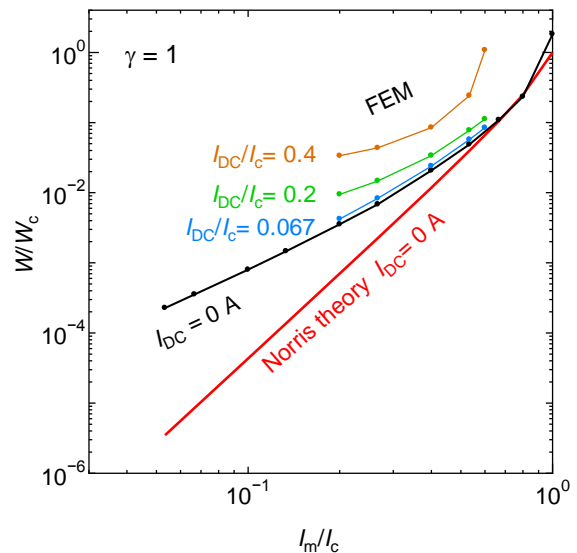


図 2 : 実験結果

参考文献 [1] E.S.Otobe, S.Komatsu, V.S.Vyatkin, M.Kiuchi, T.Kawahara, S.Yamaguchi, International Symposium on Superconductivity 2012, Tokyo