

リップル電流通電時の超伝導体の交流損失の数値的評価

Numerical estimation of AC loss in superconductor with ripple current

九工大¹, 中部大² 小松 伸二郎¹, 小田部 荘司¹, ビャトキン ウラジミール¹, 木内 勝¹,
河原 敏男², 山口 作太郎²

Kyushu Inst. of Tech.¹, Chubu Univ.² Shinjiro Komatsu¹, Edmund Soji Otabe¹, Vladimir S. Vyatkin¹,
Masaru Kiuchi¹, Toshio Kawahara², Sakutaro Yamaguchi²

E-mail: otabe@cse.kyutech.ac.jp

1 目的

直流電力ケーブルでの交流損失は、交流電力ケーブルでの交流損失よりもかなり小さくなるために、銅酸化物高温超伝導体による直流伝送ケーブルが開発されてきている。また、直流電力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。加えて、直流伝送ケーブルの臨界電流密度(J_c)は縦磁界効果を利用することによって増加することが可能なことから、結果として交流伝送ケーブルと比較して小型になる。しかしながら既存の従来の電力ケーブルは交流電流を基にしているため、交流から直流へ電流を変換する必要がある。逆に、直流伝送ケーブルを設置するにあたり電流形コンバータ回路でとても大きなインダクタンスを必要とする。したがって、直流伝送ケーブルシステムのデザインのために交流電流を重畳した直流電流(リップル電流)の場合の交流損失の評価が望まれている。

本研究では、有限要素法(FEM)を用いて超伝導体でのリップル電流の交流損失を数値的に計算した。

2 実験

本研究では、FEM に基づく解析が可能なフォトン社の PHOTO-Eddy を使用した。超伝導体の形状は円筒とストリップの二種類を用意する。円筒の場合は、半径が 1.3mm の 5° モデルで厚さは 0.3mm とした。ストリップの場合は、断面積を 3mm×2μm とした。FEM で十分な計算をするために、要素の幅と厚さのアスペクト比を超伝導体と空気の両者の領域とも 1000 以下とした。

このとき、それぞれの形状でリップル電流の交流損失(W)を計算する。

3 結果及び考察

はじめに、FEM による計算と理論予測を比較する。 I_{DC} と I_m はそれぞれ直流電流と重畳リップル電流の振幅、 W_c は臨界電流のときの交流損失である。円筒の場合、超伝導体の磁束分布の計

算は FEM と理論予測が一致することが分かる。理論によって予測されるように $I_m < I_{DC}$ において、交流損失はより大きくなる。Fig.1 のように FEM と理論の一致は満たされていることが分かる。

ストリップの場合、交流損失は理論による予測値より大きくなる。また小振幅のリップル電流での交流損失は Fig.2 に示すように、 $I_{DC}=0$ ときより大きくなる。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。すなわち磁束の侵入は主に端において磁界の大きさに依存する。よって、交流損失は I_{DC} が増加するにつれて大きくなると考えられる。

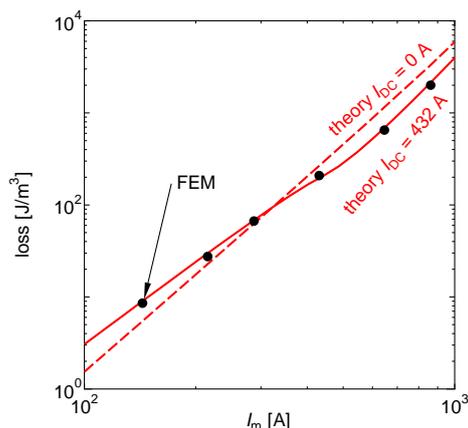


Fig. 1 AC ripple current amplitude dependence of AC loss of ripple current for cylindrical superconductor.

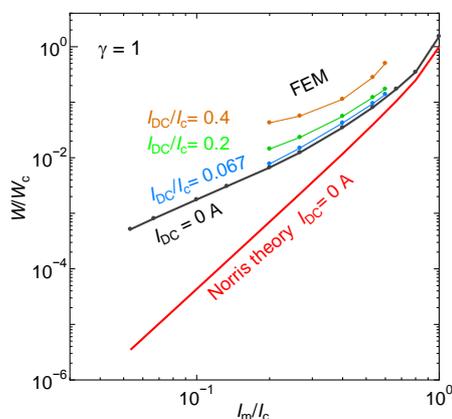


Fig. 2 Normalized AC amplitude dependence of normalized AC loss of strip with various I_{DC} for $\gamma = 1$.