

1000 A 級伝導冷却型超伝導トランスの製作と超伝導体の交流電損失

松下研究室 M2 右田 稔

1.はじめに 現在開発が進んでいる酸化物超伝導体を用いた交流応用機器の代表例として、超伝導電力輸送ケーブルや抵抗型限流器などが挙げられる。本来、超伝導体に臨界電流以下の定常電流を通電しても抵抗はゼロであるので、損失は発生しないが、交流電流を通電すると、臨界電流以下の電流であっても電流による自己磁界の変動に伴って交流損失が発生する。従って、上記のように超伝導体を交流条件下で使用する場合は、交流損失を考慮しなければならない。

一方で、Y-123 バルク超伝導体などの臨界電流は 77.3 K で数 100 A を超えるものもあり、十分な電流での交流損失の測定には超伝導体の臨界電流に見合った電流源を確保しなければならない。一般に数 100 A を超える電流源は非常に高価であるため、小電流源とトランスを組み合わせて、交流損失測定用の温調可能な伝導冷却型 1000 A 級超伝導トランスを作製した。

また、超伝導体を用いた機器の開発に際して、実際に超伝導試料を作成して電磁特性を測定し、その結果をフィードバックして新たに試料を作成する、といった手順を取ると、効率が悪く、コストもかさんでしまう。そこで、試料を作成する前に、あらかじめ目的の試料の特性を理論計算または数値計算などで予想することができれば非常に有意義である。しかしながら、複雑な形状をした試料の電磁現象を理論計算によって見積もることは、自己無矛盾の磁束分布解を求める必要があり、非常に困難である。このような場合の電磁現象を見積もる方法の一つとして、有限要素法(以下 FEM と述べる)が挙げられる。これを用いて臨界電流密度の磁界依存性、試料の形状依存性に加え、磁束クリープの影響として n 値モデルを考慮し、交流損失を数値解析により求め、これらが交流損失にどのような影響を与えるかを考察する。

2.伝導冷却型 1000 A 級超伝導トランス 2 台の冷凍機を用いた温調可能な 1000 A 級超伝導トランスを作製した。トランスの概形は直径約 600 mm ϕ 、高さ約 1000 mm となっている。検証の結果、一次側と二次側の変流比はおよそ 72 倍であり、1 Hz ~ 75 Hz の周波数範囲で、二次側に 1000 A を超える電流をゆがみや位相ずれなしで誘起できることを確認した。さらに、サンプル部の温調や、通電による巻線の温度上昇などの影響が、お互いに干渉し合わないことも確認された。

作製された 1000 A トランスを用いて、銀シース Bi-2223 超伝導多芯線材の交流損失が測定された (Fig. 1)。楕円面の Norris の理論式との比較の結果、今回作製されたトランスを用いて、温調可能な交流損失測定が可能であると考えられる。

3.FEM による解析結果および検討 磁界依存性および形状依存性が損失に与える影響については、これまでの報告を参照されたい [1]~[5]。

Fig. 2 は、FEM を用いて、電界 E と電流密度 J の関係を $E = E_c (J/J_c)^n$ で近似した n 値モデルにおける円断面の超伝導体の交流損失の n 値依存性を示している。ただし、電界基準 E_c を 1.0×10^{-4} V/m、臨界電流密度 J_c を 1.0×10^9 A/m² としている。ここで、臨界電流を I_c (A)、通電電流のピーク値を I_p (A) としたとき、Fig. 2 において $I_p/I_c \equiv i = 0.09$ である。また、通電周波数は 10 mHz であり、ヒステリ

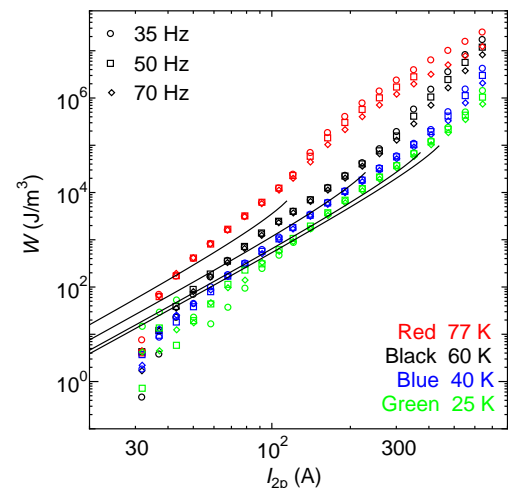


Fig. 1 1000 A トランスにより測定された各温度での Bi-2223 の通電交流損失。

シス損が支配的である。 n 値が低いと損失が大きく、 n 値が大きくなると Bean モデル ($n = \infty$) に漸近していく様子が伺え、定性的な観点から FEM の解析は正しいと考えられる。

一方、実線は表面電界を 1.0×10^{-7} V/m とした場合の見かけの臨界電流密度から求めた、それぞれの n 値での損失の理論的な見積もり値である。これによると FEM の結果は、理論の見積もりよりも、損失が大きいたことが分かる。ただし、理論の見積もり値は表面電界のみを用いて損失を評価しているため、電界自体を過大評価しており、損失を小さく見積もっている可能性がある。従って、この理論の見積もり値は n 値モデルの損失の下限値を示していると言える。FEM の結果はこの下限値よりも大きく、定量的に大きく外れていることはないため、今回の FEM コードを用いて n 値モデルの損失のおおよその見積もりが可能だと考えられる。ただし、より正確な定量的検証は必要であり、この点は今後の課題である。

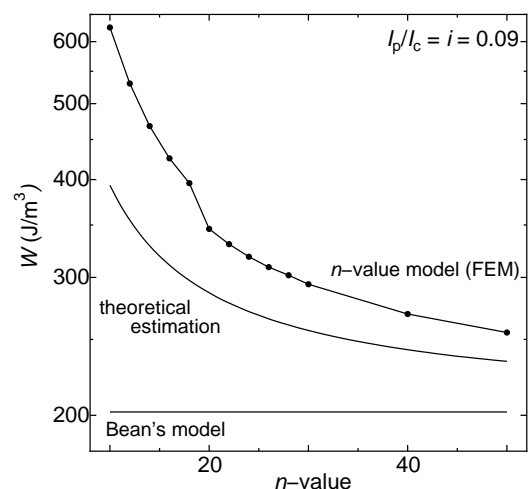


Fig. 2 FEM での損失の n 値依存性。実線は理論的な見積もり。

研究業績

- (1) 電気学会九州支部
- (2) 応用物理学会

- (3) 応用物理学会九州支部
- (4) 低温工学学会
- (5) International Symposium on Superconductivity,