

臨界電流密度の磁界依存性を考慮した超伝導体の交流通電損失の数値解析

松下研究室 B4 渡辺 雅人

序論 一般に超伝導体に交流電流を通電すると損失が発生する。この損失は交流損失と呼ばれ、その値は超伝導体の形状や臨界電流密度 J_c に大きく依存する。円柱状超伝導体のように対称性の高い形状では J_c の磁界依存性が簡単な場合に解析的に求めることが出来るが、対称性の低い任意形状の超伝導体や J_c の磁界依存性が複雑な場合にはその計算は非常に困難である。そこで有限要素法(FEM)を用いた数値解析により超伝導体内部の磁束分布を求め、交流損失を求めることが出来れば非常に有用である。そこで、まずはこのFEMによる解析が信頼できるものであるかを J_c の磁界依存性に Bean モデル、Kim モデルを仮定した場合に検証する。そして、超伝導体の断面が円、正方形、長方形である場合の交流損失を求めて形状依存を調べ、さらにFEMによる結果と実際の超伝導試料の実験値との比較を行う。

数値解析方法 FEMにより、半径11 mm無限の長さをもつ円柱状超伝導体の軸方向に交流電流を通電するとして損失を求めた。超伝導体のモデルは計算量の軽減のために、軸方向及び方位角方向の対称性から、それぞれ長さ1 mm、角度1度の扇形にとり、さらに、通電電流は最大で表面から1 mmしか侵入しない値をとるように設定するため、半径10 mm以内は定義していない。このモデルを R 方向に20分割、それぞれの要素に対して計算を行った。 J_c - B 特性として Bean モデルと Kim モデルを用い、表皮の厚さが要素の厚さとなるように、周波数10 Hzの交流電流を通電するとした。

結果及び検討 Bean モデルを仮定した場合の超伝導体内部の磁束分布を図1に示す。シンボルがFEMによる結果、実線が Bean モデルでの理論値となっている。結果と理論値がよく一致しており、正しくシミュレーションが行われていることが分かった。Kim モデルの場合も同様によく一致した。つぎに、交流損失を実際の試料の実験結果と比較した。用いた試料はQMG法によるY-123バルク試料で、サイズは $10 \times 1.0 \times 0.5 \text{ mm}^3$ となっている。超伝導トランスを用いた交流通電損失測定の実験結果をいろいろな解析結果と比較した。それらは同面積の楕円断面を仮定して Bean モデルを用いた理論値(破線)、円断面で Irie-Yamafuji モデルを用いた理論値(実線)、試料と同じ形状でFEMにより解析した結果で J_c - B 特性に Kim モデルを用いたもの(∇)、多項式近似によるテーブルを用いたもの(Δ)である。

それを実験結果とともに図2に示す。図から分かるように、磁界依存性を考慮したFEMの結果が実験結果とよく一致しており、磁界依存性を考慮していない Norris の式はたまたま一致しているに過ぎないと考えられる。

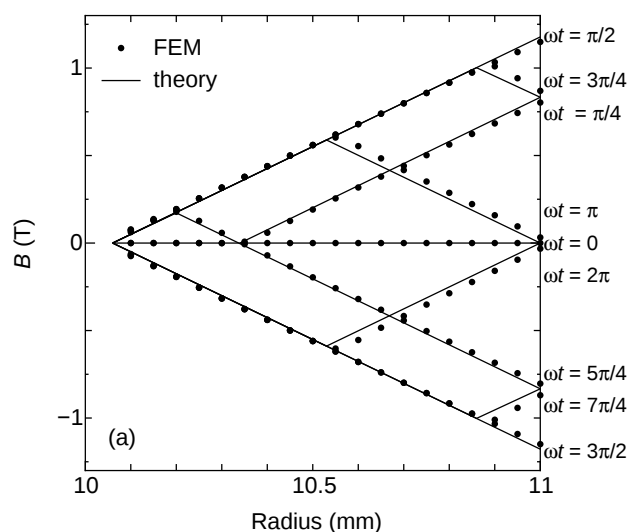


図1 Beanモデルにおける磁束分布のFEMによる結果と理論値

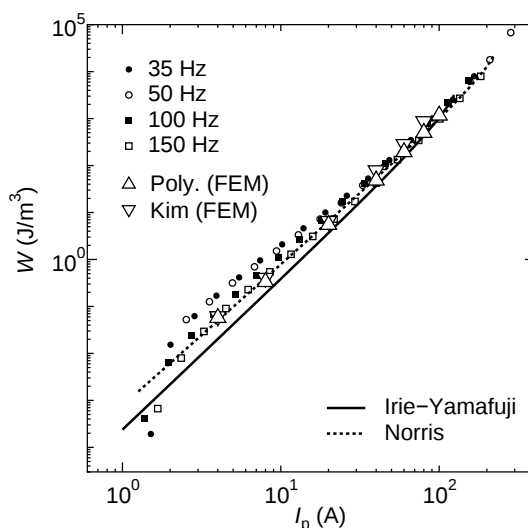


図2 交流損失の電流依存性