

Campbellモデルによる磁束線可逆運動を 考慮した第三高調波電圧のシミュレーション

03232039 小田部研究室 中津留 公貴

はじめに 超伝導体とは、臨界温度 T_c で突如抵抗がゼロとなる物質のことであり、様々な分野での応用が期待されている。超伝導体の実用化にあたり、電気抵抗なしで流せる最大直流電流密度である臨界電流密度 J_c は、非常に重要である。近年注目を集めている J_c の測定法として、第三高調波電圧誘導法がある。この測定法は、非破壊・非接触での測定が可能であることから長尺線材の評価法、特に製造過程での簡易評価法として有望と考えられている。しかし、この測定法による J_c は無視できない過大評価が見られるという問題点がある。この過大評価は磁束線の可逆運動によるもので、サンプルの厚さ d がCampbellの交流磁界の侵入深さ λ'_0 と同程度かそれ以下の場合に顕著で、十分薄いサンプルや、高磁界で λ'_0 が大きくなると J_c は過大評価される。磁束線の可逆運動を表すものとしてCampbellモデルがある。これまでの研究ではSimplified Campbellモデルを用いたが、実験結果を定性的に説明することしか出来なかった¹⁾。したがって、定量的に磁束線の可逆運動による影響を調べるためにCampbellモデルを用いた数値的な解析が必要である。

本研究では、Campbellモデル及びModified Campbellモデルにより磁束線の可逆運動が第三高調波電圧 V_3 に与える影響を数値的に解析し、実験値との比較を行うことで、磁束線の可逆運動による J_c の過大評価への影響を調べた。

理論 Campbellモデルによれば、磁界が z 軸方向にかかっており、磁束線を x 軸方向へ変位させたときに、超伝導体内部の磁束分布は、 b を磁束密度の変化分として

$$\frac{d^2b}{dx^2} - \frac{b}{\lambda_0'^2} \left(1 + \frac{1}{\mu_0 J_c} \frac{db}{dx} \right) = 0 \quad (1)$$

で表される。これを適切な境界条件で数値的に解くことによって磁束分布を求めることができる。さらに内部の磁束分布から遮蔽電流を求め、第三高調波電圧を求める。

結果と考察 図1に、Simplified Campbellモデル、Campbellモデル及びModified Campbellモデルに基づいて数値計算した磁束分布から求めた $db/dx-b$ 特性を示す。Campbellモデルに比べModified Campbellモデルでは可逆の状態から不可逆な状態への移行が早くなっている。

図2に λ'_0/d の値を変えたときの第三高調波電圧 V_3 と印加磁界 $\mu_0 H_m$ との特性を示す。 λ'_0/d が大きくなればなるほど V_3 の立ち上がり点は不可逆な磁束線を仮定した場合より高磁界側にシフトしており、 J_c の過大評価を引き起こす。

図3に77.3 Kにおける膜厚の異なるYBCO-coated線材での、四端子法による J_c に対する第三高調波電圧誘導法による $J_c(J'_c)$ の比による過大評価の割合を示す。また、図2で V_3 の立ち上がり点となる閾値 V_{3th} を適当に定めることで得られる理論結果を示す。 λ'_0/d の値が小さい場合は理論値と実験値

との定量的な一致が見られるが、 λ'_0/d の値が大きくなるにつれて理論値の方が大きくなっている。このように、Campbellモデル及びModified Campbellモデルによる理論値は実験値に近づいているがまだ不十分である。したがって、Campbellモデルをさらに修正する必要がある。

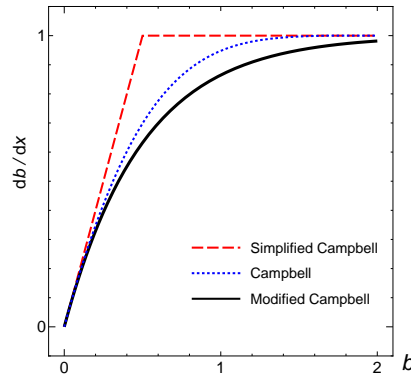


図1：db/dx-b特性

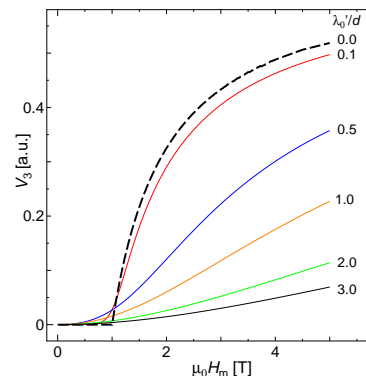


図2：Campbellモデルによる磁束線可逆運動を考慮した第三高調波電圧の外部磁界依存性

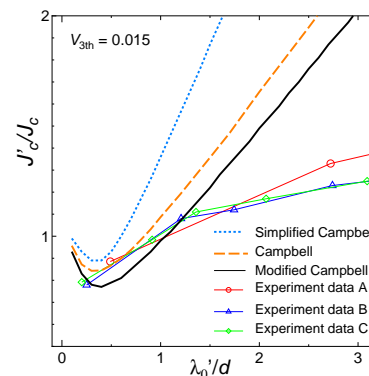


図3： J_c の過大評価の割合の λ'_0/d 依存性

【参考文献】

- 1) Y. Fukumoto *et al.* : Superconductor Science and Technology 18 (2005) 861.