

超電導バルク体における E - J 特性を考慮した超電導電流解析の高精度化に関する検討柳川 友洋
(広島大学)金田 和文
(広島大学)野口 聡
(北海道大学)山下 英生
(広島工業大学)

1. はじめに

超電導バルク体(以下、バルク体)の応用を実現するためには、バルク体内を流れる超電導電流の特性を把握することが必要となる。このためのアプローチとして、有限要素法を用いた解析も報告されている[1]。しかしながら、バルク体内の仮想導電率の非線形性が強いいため、超電導電流が波打ち、不適切に評価されてしまう問題がある。これまでに、この問題を改善する解析手法(以下、提案手法)を提案してきた[2]。文献[2]では準静磁場に対応したピンモデルをバルク体のモデルとして採用した。今回、より実用的な動作環境を模擬するために、変動磁場に対応した E - J 特性モデルを考慮できるように提案手法を拡張したので、その結果について報告する。

2. E - J 特性モデルを考慮した提案手法

2.1. 支配方程式[2]

提案手法において、解くべき支配方程式は次式のように与えられる。

$$\text{rot}(\nu \mathbf{B}_{\text{proposed}}) = \mathbf{J}_0 + \mathbf{J}_{SC} \quad (1)$$

ここで、 ν は磁気抵抗率、 $\mathbf{B}_{\text{proposed}}$ は隣接要素の影響を考慮した磁束密度、 \mathbf{J}_0 は励磁電流の電流密度、 \mathbf{J}_{SC} は超電導電流密度である。仮想導電率を導入することにより、(1)式の \mathbf{J}_{SC} は次式で表される。

$$\mathbf{J}_{SC} = -\sigma_{SC} \mathbf{E}, \quad \mathbf{E} = \partial \mathbf{A} / \partial t \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{E} は電界強度、 \mathbf{A} は磁気ベクトルポテンシャルである。

2.2. E - J 特性モデルの考慮法

一般に、超電導体中に生じる電界と電流密度の間には以下の関係があることが知られている。

$$\mathbf{E} = E_C \left(\frac{|\mathbf{J}_{SC}|}{J_C} \right)^n \quad (3)$$

ここで、 E_C は超電導体の臨界電流密度 J_C を定義する基準値である。また、 n は非線形性に影響する値であり、 n 値と呼ばれる。本報告において、 $E_C = 1.0 \times 10^{-7} \text{V/mm}$ 、 $J_C = 1.25 \times 10^7 \text{A/m}^2$ 、 $n = 20$ を採用した。(2)、(3)式から次式のように仮想導電率が導出される。

$$\sigma_{SC} = \frac{J_C}{E} \left(\frac{E}{E_C} \right)^{1/n} \quad (4)$$

(4)式で表される仮想導電率を考慮した非線形解析を行うことにより、 E - J 特性モデルが扱われる。

3. 解析結果

解析モデルを図1に示す。超電導電流密度分布の

一例を図2に示す。また、非線形解析手法として直線探索を導入し、収束特性を調査した。収束特性を図3に示す。図2において、有限要素解析では所望の精度まで収束しないため(図3中のFEM参照)、反復を強制的に打ち切った場合の結果を示している。図2より、有限要素法では逆向きの電流が評価されているが、提案手法では妥当な結果を得ることができている。また、図3より、提案手法において、直線探索を導入することによる収束特性の向上が確認できた。これより、提案手法は E - J 特性モデルを考慮した場合においても、妥当な超電導電流を評価することができる有用な手法であることが確認できた。

4. まとめ

本稿では、提案手法に対し、 E - J 特性モデルを考慮した解析を行ない、提案手法の有用性について述べた。今後の課題としては、提案手法を3次元解析手法に拡張することが挙げられる。

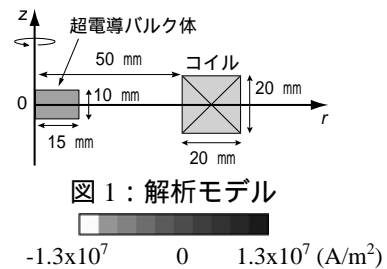


図1: 解析モデル

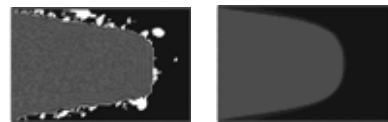
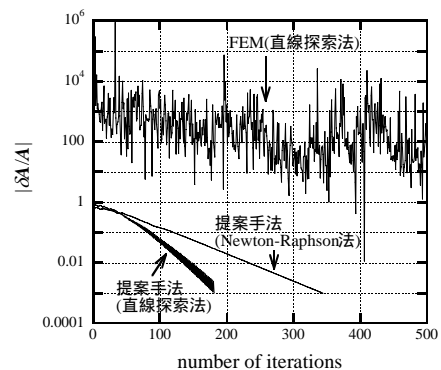
有限要素法 提案手法
図2: 超電導電流分布

図3: 収束特性

参考文献

- [1] H. Ueda, *IEEE Trans. ASC*, vol. 13, no. 2, p. 2157.
[2] 柳川他:「酸化物超電導バルク体の磁場解析の高精度化に関する一提案」, 平成16年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, p. 456, 2004.