Y系酸化物超伝導テープ線材を用いた

超伝導コイルの電流ー電圧特性の予測

Prediction method of current-voltage characteristics of superconducting coil using Y-based oxide superconducting tape

向井 優河

原田 直幸

Yuga Mukai Naoyuki Harada

山口大学大学院創成科学研究科

1 はじめに

Y 系超伝導テープ線材は液体窒素や冷凍機で冷 却するコイルへの応用が進められている.酸化物 超伝導テープ線材は印加磁場の大きさだけでなく その方向によって臨界電流特性が変化する.コイ ル内部でテープ線材が受ける磁場とその方向をも とにコイルの特性を把握して,酸化物超伝導テー プ線材を用いた超伝導コイルの設計をする必要が ある.そこで,本研究ではY系超伝導テープ線材 の印加磁場の方向を変化させ,テープ線材の特性 を測定し,その結果とコイルの磁場解析結果をも とにコイルの電流-電圧特性の予測する方法につ いて検討を行った.

2 検討を行った線材とコイル

2.1 使用したテープ線材

本研究では、図1に示す Super Power 社製のY 系テープ線材を用いた.この線材は幅4.0mm,厚 さ0.1mm で磁場を印加しないときの臨界電流は 80~100A である。



図1 検討に用いたY系テープ線材

2.2 検討を行うコイルの磁場分布

検討を行うコイルは内半径 37mm,外半径 47mm, 巻き数40ターンのパンケーキコイルを図2の断面 図に示すように,中心軸方向に10個を積層するコ イルを想定した.このコイルのテープ線材1本に 30A流すと仮定して発生する磁場の解析を行った.

図2はそのコイルの断面における磁束密度分布 を示す.図中の白い線は磁束線を表し、テープ線 材に印加される磁場の方向は中心軸方向と線材の 幅広面の中央を貫く磁束線の角をθで表している.

図2からコイルの磁場は上から5個目,6個目 のコイル巻き線部の内側が最大であり,外側では 最小であることがわかる.また,磁束線はテープ 線材の幅広面にほぼ平行である.しかし,最上段 のコイルでは,磁束線は巻き線部内側から外側へ かけて弧を描いていることがわかる.そこで図3 に最上段の右側の巻き線部分におけるターンごと の0の変化を示したグラフを示す.図中のカラー の部分は図2に示した最上段のコイルの右側巻き 線部分を拡大したものである.

図 3 に示すようにコイルの内側の 1 ターン目で は θ =32°,最も外側の 40 ターン目において θ =111° となり、 θ は単調に増加していることがわかる.



図2 検討を行ったコイル断面の磁場分布



図 3 最上段のコイル右側の巻き線部における θ の変化

3 テープ線材の特性の測定

テープ線材に印加される磁場の角度と発生 電圧の関係を明らかにするために次の実験を 行った.図4に示したホルダーにテープ線材を 取り付け,図5に示した銅線を巻いた2つのコ イルの間に入れ,77Kの液体窒素中で電流を流 し、テープ線材における発生電圧を測定した. 図4にホルダーの外観を、ホルダーをコイル間 から上方に引き上げた状態の外観を図5に示す. このホルダーに取り付けたテープ線材の長さ は 40mm, 電圧端子の間隔は 10mm である. ま た、ホルダーの下部の面に角度の印をつけそれ に合わせてホルダーを固定し、線材に印加する 磁場の角度を設定した. テープ線材に通電した 電流は22A~32Aの範囲内で1Aごとに設定し、 印加する磁場を最大 230mT まで変化させた.今 回は本検討の初期段階であることから全体的 なデータを把握するため $\theta=0^\circ$, 30°, 60°, 90°に設定した。測定結果の例として通電電流 22A, 27A, 32A の場合を図 6 に示す. 図 6 に 示すように, テープ線材に流す電流が大きいほ ど電圧が発生し始める磁場の値は小さくなる ことがわかる.また、印加磁場の値が同じ場合 0°~60°までは θ の増加に対して発生電圧は大 きくなるが、90°では発生電圧が小さくなること がわかる.



図4 テープ線材を取り付けたホルダー



図5線材に磁場を印加させるための装置外観



 図 6 Y 系テープ線材の印加磁場を変化させた ときの発生電圧

4 コイルの電流ー電圧特性の予測

図6に示すようなテープ線材の特性を用いて、 一定の通電電流に対してパンケーキコイルのター ン毎に発生電圧を予測し、それらを合計すること でパンケーキコイル1個の電流-電圧特性とした. 図3に示した θの変化よりコイル内側から1~10 ターン目までは θ=30°におけるテープ線材の発生 電圧の特性、11~27ターン目は θ=60°の特性、そ れよりも外側のターンは θ=90°の特性を使用して 最上段のコイルにおける各ターンの発生電圧の予 測値を計算した。テープ線材に通電した電流 28 A ~32 A 時におけるターン毎の発生電圧の計算結 果を図7に、最上段のコイルの全体の電流-電圧 特性を表したものを図8にそれぞれ示す.

図7において、どの電流値でも発生電圧の最大 値はコイルの最も内側の1ターン目であり、電流 が大きいほど発生電圧も増加していることがわか る.また、10ターン目と11ターン目の間、27タ ーン目と28ターン目の間には発生電圧の予測値 が大きく変化している部分が生じている.これは 線材の印加磁場と発生電圧の関係が30°間隔で あるため生じたものである.また、図8に示すよ うに電流を増加させていくと27Aから電圧が上 昇していることがわかる.



図 7 最上段のパンケーキコイルにおけるター ン毎の発生電圧



図 8 最上段のパンケーキコイルにおける電流-電圧特性の予測

5 まとめ

Y 系超伝導テープ線材の角度と発生電圧の特性 を測定し,超伝導コイルの電流-電圧特性の予測 を行った.その結果,発生電圧の予測値は角度の データが少ないために,ターン間での発生電圧の 予測値の差が大きくなった.

今後は測定時の角度のデータを増やすこと、印 加する磁場や通電電流を増加することなどを行い、 予測値を計算し、実際のコイルとの比較を行う計 画である.