

識別番号 P1

研究課題 高温超伝導コイルにおける巻枠膨張と含浸効果がコイル歪みに及ぼす影響

研究代表者 後藤貴行(理工学部機能創造理工学科)

共同研究者 高尾智明(機能創造理工学科), 中村一也(機能創造理工学科)

Summary Single-pancake coils having different winding turns are fabricated. The bobbin material used for the coils is a Dyneema® fiber-reinforced plastic (DFRP), which has a thermal expansion property during cooling. The influence of the DFRP's expansion on thermal strains of the coil during cooling is experimentally estimated. In the experiment, the thermal strains on the superconducting tape of the outermost turns in the coils are measured. The dependence of epoxy impregnation on the thermal strain of the coil is also experimentally estimated. According to the experimental data, the combination of impregnation and the bobbin's expansion effectively decrease thermal contraction of the outermost tape.

1. 研究の目的及び背景

超伝導線材は高電流密度での大電流が通電可能であるため、コイル応用が盛んに行われている。運転中の超伝導コイルには電磁力や熱歪みにより超伝導線材に対して種々の方向の応力が印加される。実用機では長期にわたって、運転性能が維持されなければならないため、上記のような応力に対して超伝導線材を固定させる対策を施さなければならない。そのことは超伝導コイルの安定性向上につながる。

本研究では、線材の固定法として二種類の方法を用いた。一つ目は極低温下で負膨張特性を示す新機能巻枠材料 Dyneema®繊維強化プラスチック(DFRP)※をコイル巻枠に用いた。二つ目が超伝導線材と巻枠をエポキシ樹脂で含浸する方法を用いた。

一般的にコイル作製時、あらかじめ常温で強い張力を印加し、超伝導線材を固定する方法が考えられる。しかし、これだけでは極低温における巻枠構造材料との熱収縮率の違いにより、線材が弛み、線材の移動を抑制することが困難となる。そこで上記に提案した固定法を用いて超伝導コイルを作製し超伝導特性及び熱歪みを評価した。※Dyneema®は、東洋紡の登録商標です。

2. 研究の方法・内容

YBCO 超伝導線材を用いた小型シングルパンケーキコイルを作製した。その概要図を図 1 に示す。巻枠の材料は一般的にコイルに用いられている GFRP と我々が提案する DFRP の 2 種類を用いた。それぞれ巻線張力として 10, 25 N を印加して YBCO 超伝導線材を巻枠にパンケーキ状に巻き、コイルを作製した。ターン数は 1, 4, 7, 10, 15, 20 とした。超伝導線材の緒元を表 1 に示す。これらを、液体窒素に浸すことで最外層線材の歪みを測定し、巻枠構造材料の収縮・膨張が与える影響を調査した。

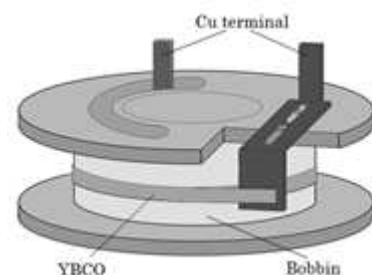


図1. 小型シングルパンケーキコイル
概要図

さらに、コイル含浸の有無や印加張力の違いによる関係性把握、臨界電流特性、熱サイクル特性の調査も行なった。

3. 研究の成果

《臨界電流測定結果・検討》

図2に臨界電流－熱サイクル特性結果の一例を示す。図より、全ての測定条件で熱サイクルを重ねても臨界電流は一定となる傾向が得られた。また、熱サイクル及び巻枠材料が異なっても臨界電流は変化しないことが確認された。

つまり GFRP の収縮、DFRP の膨張はコイルの臨界電流特性に対して影響がないと考えられる。

《熱歪み測定結果・検討》

含浸・非含浸コイルの熱歪み測定結果より、各サイクルの平均値を算出し、熱歪み－ターン数依存性を評価した。図3に巻線張力 10 N の算出結果を示す。図より全てのターン数において、含浸という手法を講じることで歪み値が増加している。このことは含浸により、超伝導線材の収縮が効果的に抑えられているといえる。また、非含浸コイルよりも含浸コイルの方が巻枠材料による違いが顕著に増加している。これは含浸コイルの方が、巻枠と線材間・線材間同士の隙間が少なくなり、巻枠 DFRP の膨張が伝達しやすくなった為だと考えられる。

4. まとめ

新機能巻枠材料 DFRP を用いて YBCO シングルパンケーキコイルを作製し、種々の項目において特性調査を行った。その結果、巻枠材料として DFRP を用いることで超伝導線材の収縮を効果的に抑制した。また、DFRP と含浸材を共に用いると効果的にコイル最外層の超伝導線の熱収縮を減少させることが示された。

5. 本研究に関する成果発表

T. Takao et al., Influence of Structural Material and Epoxy Impregnation on Coil Strains in Y123 Pancake Coil, MT 23, 2PoAN-02, Boston, USA (2013).

表 1. 超伝導線の緒元

超伝導層	Y123
絶縁材	ポリイミド
線材幅	4.1 mm
線材厚さ	0.16 mm
銅の厚さ	0.04 mm
絶縁材厚さ	0.05 mm
最大引張許容荷重	550 MPa
臨界電流値(77K)	約 102 A

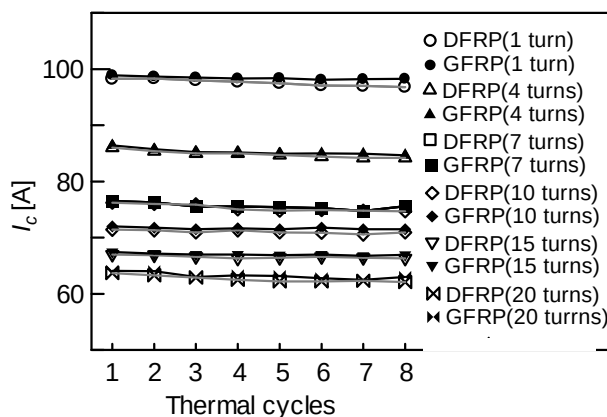


図2. 臨界電流－熱サイクル特性(非含浸・10N)

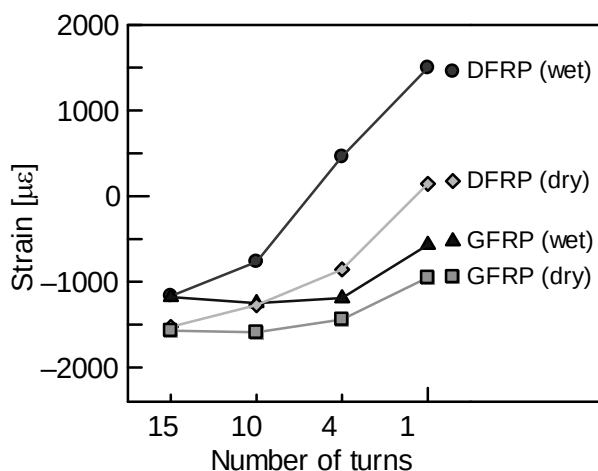


図3. 熱歪み－ターン数依存性(10N)