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

後藤貴行，高尾智明，中村一也（機能創造理工学科）

▼ 超伝導って何？

最近のトピックとしては、JR東海のリニア中央新幹線で超伝導を用いて東京－名古屋間を約40分で結ぶように計画されている。現在、この区間は約110分もの時間が必要です。ところが，この超伝導を用いることによって約半分以下の時間に短縮できる。この時間では名古屋から東京への通勤・通学も夢ではない。

リニアモーターカー

写真参照:リニアモーターカー 鉄道総合研究所 HP

▼ 共同研究目的

研究目的： 超伝導体における磁束格子融解のNMRによるその場観察

理学（基礎サイド）後藤　　工学（応用サイド）高尾，中村

アプローチ

✓大電流通電された超伝導体内で磁束格子がローレンツ力を受け、ピン止めが外れて動き出す（フロー）瞬間のダイナミクスをNMRスペクトルと緩和率によって検出し、ピン止め機構に関する基礎的知見を得る。

✓超伝導線材・試料の臨界電流並びにn値を測定し、マクロな面から性能を調べ、上記で観測した、どのようなダイナミクスを呈するピン止め中心が最も有効であるかを調べ、高臨界電流密度線材の指針を得る。

▼本研究

本研究目的

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かけ，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，線材が緩まってしまい，線材の移動を抑制することが困難である。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。

本研究では二種類の固定法を使用

コイル巻枠材料による固定法

GFRP

Grass Fiber Reinforced Plastic
ガラス繊維強化型プラスチック

- 高強度、形状の自由度が高い
- 絶縁性に優れている
- 熱伝導率が低い
- 極低温下で収縮する

DFRP

Dyneema Fiber Reinforced Plastic
ダイニーマ繊維強化型プラスチック

- 高強度・軽量
- 絶縁性に優れている
- FRPの中では熱伝導率が高い
- 極低温下で膨張する（負膨張特性）

含浸材による固定法

含浸

- コイルの機械的剛性が向上
- ワイヤーモーションの抑制
- コイル製作工程が煩雑化
- 含浸材の熱伝導率が低い

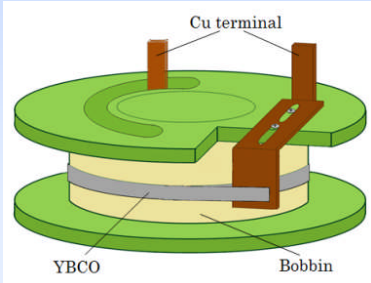
非含浸

- 浸漬冷却時は熱的安定性が向上
- ワイヤーモーションが起こりやすい
- コイルの機械的剛性が低い

実験準備・方法

コイル緒元

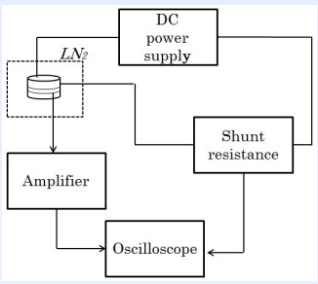
巻枠高さ	20 mm
巻枠内径	40 mm
巻枠外径	55 mm
巻線張力	10, 25 N
含浸材	エポキシ樹脂
巻数	1,4, 7, 10, 15, 20



コイル概要図

超伝導線緒元

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
安定化銅厚さ	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 (77 K)	約102 A



臨界電流測定回路

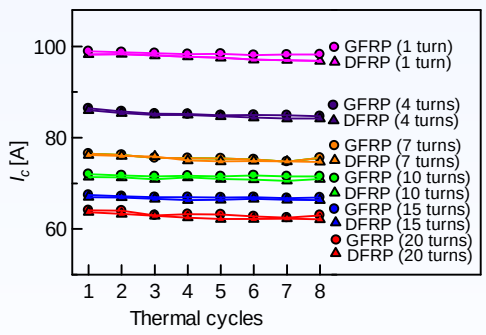
測定項目

- 構造材料の比較　GFRP, DFRP
- 張力の比較　25N, 10N
- ターン数の比較　1, 4, 7, 10, 15, 20 ターン
- 含浸の有無による比較　エポキシ樹脂 (GM6800)

✓臨界電流
✓熱歪み

実験結果・検討

臨界電流測定結果・検討

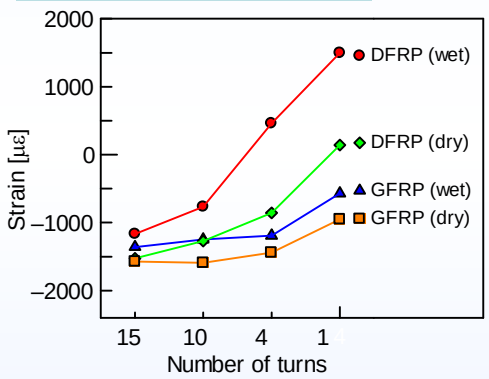


臨界電流－熱サイクル特性(非含浸・10N)

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。

⇒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。

熱歪み測定結果・検討



熱歪み－ターン数依存性(10N)

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。

⇒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ためだと考えられる。

▼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。