

超伝導線材の臨界電流に及ぼす中性子照射効果 Format Neutron Irradiation Effect on Critical Current of Superconducting Wires

核融合科学研究所 西村 新, 妹尾 和威, 菱沼 良光
東北大・金研 西島 元, 渡辺 和雄
A. Nishimura¹, K. Seo¹, Y. Hishinuma¹, G. Nishijima², K. Watanabe²
¹ National Institute for Fusion Science
² Institute for Materials Research, Tohoku University

1. はじめに

核融合炉では重水素と重水素との反応、もしくは重水素と三重水素との反応のどちらかが計画されるが、いずれの装置においても高エネルギー中性子(D-D 反応では 2.45MeV、D-T 反応では 14MeV)が発生し、そのエネルギーを取り出すことが核融合エネルギーの確保ということになる。炉心部分で発生する中性子は、ブランケット構造でほとんどが捕獲される。しかし、ポート周辺では中性子の漏洩が起こり、ブランケットを透過する中性子も存在する。これらの中性子は超伝導マグネットに到達し、超伝導マグネットの性能に影響を及ぼす。

本研究は中性子照射した超伝導線材の臨界電流の変化を実験的に明らかにすることが目的である。

平成 19 年度では、中性子照射前試料の高磁場での臨界電流測定を実施した。また、「東北大学金属材料研究所における下限界数量以下の密封されていない放射性同位元素の管理区域外使用についての細則」の制定に伴い、平成 20 年度に実施する照射した超伝導線材の高磁場通電試験の要領について検討した。

2. ハイブリッドマグネットでの実験

年度を通じて合計 23 本の試料の臨界電流測定を行った。試料は以下の通りである。

Nb₃Sn (Bronze) Furukawa 4 本。
Nb₃Sn (Bronze) Furukawa 追加熱処理材 2 本。
Nb₃Sn (Bronze) JAEA 4 本。
Nb₃Al (RHQ+Ann.) NIMS 5 本
Nb₃Al (JR) JAEA 4 本
Bi2223 (Ag sheath) SEI 4 本

Bc2 測定結果の一例を Fig.1 に示す。この例は比

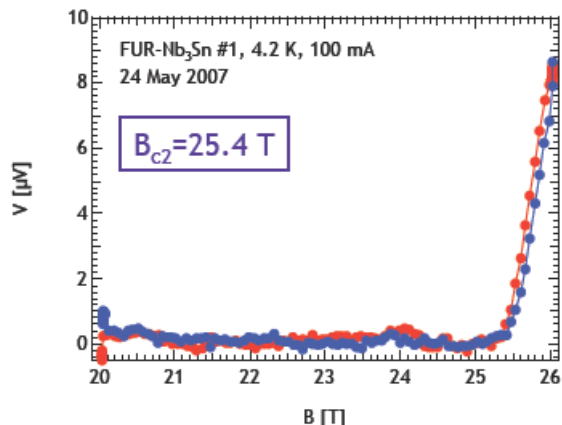


Fig 1 V-B curve of Nb₃Sn (FUR)

較的良好な実験結果で、磁場増加時と減少時の曲線が必ずしも一致しないものがあった。これらはホルダーへの試料の半田付けが良くなかったことに起因すると思われる。

臨界電流の測定結果を取りまとめて Fig.2、Fig.3 に示す。

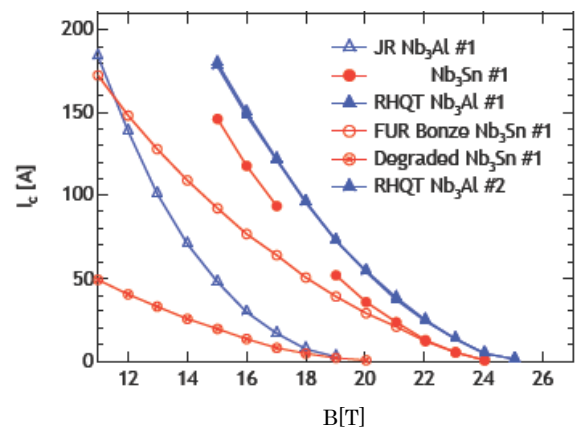


Fig. 2 Change in critical current against B.

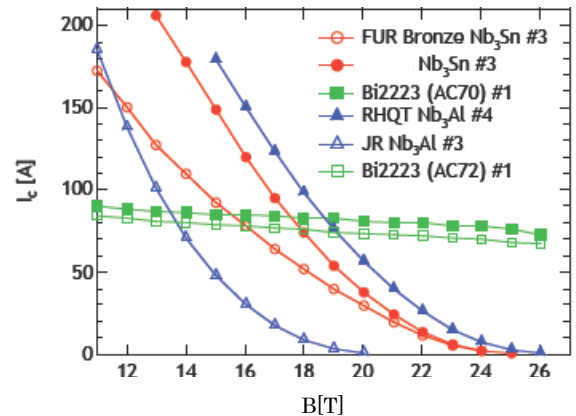


Fig. 3 Change in critical current against B.

800℃、100 時間の追加熱処理を行った FUR Bronze Nb₃Sn は明らかに臨界電流が低下している。この試料は、金属組成は同じで臨界電流値の異なる素線に中性子照射を行った場合の変化を検討するためのものである。Bi2223 テープ材は、明らかに高磁場での臨界電流が高いことがわかる。

これらの試料は、日本原子力研究開発機構の東海研究所にある核融合中性子源施設(FNS)に送られて、FNS内に設置されている小型冷凍機を用いて臨界温度

が測定され、その後、日本原子力研究所 東海研究所の JRR-3 で原子炉照射試験に供せられた。この照射試験は東北大学 金属材料研究所 大洗センターとの共同研究に基づいて実施している。

JRR-3 での照射実験は終了しているが、残留放射能の減衰を待って、平成 20 年度に照射後の臨界温度測定、臨界電流測定を実施する予定である。

3. 照射後試験の準備状況

FNS や JRR-3 で中性子照射した試料は、強磁場超伝導材料研究センターで照射後の臨界電流測定、臨界磁場測定を行う予定である。これは、28T ハイブリッドマグネットおよび 15T 超伝導マグネットのボア内が管理区域に指定されており、放射化した試料の挿入、超伝導特性の測定が可能となっている。

平成 19 年度中に、東北大学の学内規則が変更され、新たに「東北大学金属材料研究所における下限数量以下の密封されていない放射線同位元素の管理区域外使用について細則」が制定され、監視区域における放射線同位元素の適正管理と作業安全確保に関する規定が整備された。

平成 20 年度には、この細則に従って中性子照射後の試料の臨界電流、臨界磁場を測定する予定である。その手順の概要は以下の通りである。

3-1. 事前の打ち合わせ

実験を行う前に、アルファ放射体実験室管理室と事前の打合せを行い、この打ち合わせには強磁場超伝導材料研究センター世話人の方にも加わっていただく。この打合せで、どのような試料を持ち込むかを説明し、Co60 で何 Bq であるかを報告する。そして、おおよその日程を調整し、実験準備内容、実験内容、実験後の後片付けなどを説明、合意しておく。

3-2. 書類の準備、提出

「放射線業務従事者認定証明書兼放射線作業従事承認書」、「下限数量以下の非密封 RI の管理区域外（監視区域）使用実験計画書」（様式 40）および「管理区域外非密封 RI 使用届」（様式 41）を提出する。実験に参加するものは放射線業務従事者登録を済ませているものに限る。また、実験は 2 名以上の複数の研究者によって実施する。

3-3. 実験準備

実験者は東北大学金属材料研究所が実施する教育訓練を受講する。その後、作業に入る。

アルファ放射体実験室の中で FNS から払い出された L 型容器を受け取り、中性子照射した試料を取り出す。試料確認後、試料ホルダーに試料を半田付けする。試料が放射化しているため、半田には放射化した元素が溶融、混入する恐れがある。そのため、半田こて、半田は通常使うものとは区別して管理する。試料には約 10mm の間隔で電圧測定用のリード線を取り付ける。このリード線の試料側は汚染の恐れがあるので汚染用の

半田こてを使用する。反対側、すなわちハイブリッド側の計測線に接続される側は、通常の半田こてで半田付けする。このように半田こてを複数準備し、使い分けることが重要である。また、半田こての先に付着した余分な半田の除去を行う際には、湿らせた紙で不用な半田を拭き取り、この半田のついた湿った紙を注意深く管理することにより RI の汚染を防止することができる。このような処置は実験後試料を試料ホルダーから取り外す時も同じである。

半田付け作業では被爆することが考えられる。従って、試料を鉛ガラスの向こう側に配置したり、使用しない試料は鉛で覆っておくなどの処置を行う。低被爆の作業方法を確立することも作業の目標の一つとしたい。

3-4. 超伝導特性評価実験

試料ホルダーをハイブリッドマグネットにさして、臨界電流測定、臨界磁場測定を行う。臨界電流測定では、過電流による試料の溶損の可能性がある、溶損すると RI が超微粉の状態でクライオスタット内に飛散することになる。また、その一部はヘリウム回収系に流れ出ることも考えられる。そのため、試料ホルダー部分に保護筒を設け、溶損時の飛散を低減させることとする。保護筒には液体ヘリウムならびにヘリウムガスの出入り口を設ける必要があり、この出入り口からの飛散を防止することはかなり難しい。従って、ヘリウム回収ラインにもフィルターを配置し、溶損した場合には、このフィルターで微粉末を回収する。

臨界電流測定では、電圧発生後早いタイミングで電流を落とすことを心がける。

3-5. 実験後の試料の払い出し

超伝導特性評価実験後の試料はアルファ放射体実験室に持ち帰り、ホルダーから取りはずす。試料は L 型容器に梱包し、FNS に向けて払い出す。FNS では更なる照射に向けて試料を保管する。

4. まとめ

多くの方々の協力を得て、超伝導マグネット材料の中性子照射研究は着実に進行している。強磁場超伝導材料研究センターでの照射前の超伝導特性評価は通常通り行われ、中性子照射試料の照射後試験がよいよ平成 20 年度に実施される。まずは残留放射能の低い試料から実験する予定である。

謝辞

本研究は、核融合科学研究所共同研究の LHD 計画共同研究 (NIFS07KOBF014) の枠組みで行われてきている共同研究であり、東北大学 金属材料研究所 大洗センター、日本原子力研究所「核融合研究施設を利用する共同研究」の共同研究としても取り上げていただいている。また、核融合科学研究所の共同研究 (NIFS04 KOBF008, NIFS06KOBF005,) および科学研究費補助金[萌芽研究 17656098]の援助も得て実施された。