

次世代耐放射線超伝導磁石材料の照射効果

Irradiation effect on materials for next-generation radiation
resistant superconducting magnet

飯尾 雅実¹⁾ 吉田 誠¹⁾ 荻津 透¹⁾ 中本 建志¹⁾ 出崎 亮²⁾
Masami IIO Makoto YOSHIDA Toru OGITSU Tatsushi NAKAMOTO Akira IDESAKI

¹⁾高エネ研 ²⁾量研

（概要）

CERN が提唱する次世代加速器の FCC (Future Circular Collider) では 20 T 級の高磁場磁石の 100 MGy を超える高放射線環境下で運転することが求められており、既存の NbTi を用いた磁石技術を超える超伝導磁石技術が必要となる。我々は、高温超伝導である REBCO テープ線材と無機絶縁材料の開発研究を通して新たな超伝導磁石技術の開拓に挑戦している。現在、シリカとアルミナの混合塗料による表面コーティングによる無機絶縁膜の R&D を進めており、膜厚 25 μm 程度の比較的強固で耐電圧 2 kV を有する無機高分子膜の成型することに成功している。しかし、この無機高分子膜の放射線効果の詳細は調べられておらず、REBCO の実用線材データもほとんどない。そこで、我々は REBCO テープ線材、絶縁試験用と付着性試験用セラミックコーティング試料を真空状態で封入したガラスアンプルを 5 本準備し、目標線量 0.2, 1, 5, 10, 20 MGy でのガンマ線照射を行った。

キーワード：耐放射線超伝導磁石，REBCO，無機絶縁

1. 目的

原子核・素粒子物理学の発展は加速器の高度化と共に歩んでおり、その中でも磁石技術の発展は欠かすことが出来ない。現在 CERN によって提唱されている衝突エネルギー 100 TeV を目指す FCC (Future Circular Collider) では 20 T 級の高磁場双極磁石が要求されている[1]。しかし、NbTi の臨界磁場を遥かに超えているため超伝導状態を維持できない。したがって、新たな超伝導材料を用いて今まで積み上げられてきた NbTi 技術を超える磁石を作る必要がある。一方、FCC などの次世代加速器や J-PARC の様な大強度二次粒子ビーム（ミュー粒子、各種中間子）の生成部においては、100 MGy を超える高放射線環境下での超伝導磁石の運転が要求される。核発熱による数百 W の入熱があっても低温状態を維持する冷却システムが必要なのは言うまでもないが、放射線損傷による絶縁及び構造材料の特性の劣化も無視できなくなる。NbTi 技術では欠かせない一般的な有機絶縁材料は、高分子鎖の間の架橋と分子鎖の切断、および二重結合等の不飽和結合の増大による機械強度の劣化が 10 MGy より顕著になる[3]。

本研究は、高温超伝導である REBCO 線材を用い無機材料により絶縁された超伝導磁石の基礎的な研究開発を通して新たな磁石技術の開拓に挑戦するものであり[3]、そのプログラムの一つとして REBCO や絶縁材料の照射効果の研究が行われる。

2. 実施方法

市販の REBCO テープのガンマ線照射による臨界電流の変化を観測する。過去の研究によると低線量領域では、ピーニングセンター増加に起因すると予測される臨界電流増加が 0.2 MGy をピークに観測されている。その後は線量の増加に伴い臨界電流は減少する。そこで、今回の照射では、0.2, 1, 5, 10, 20 MGy の 5 点を目標にする。5 本のアンプルを同時に照射開始し、各照射量に達する時間で一本ずつ取り出すことで目標照射量を達成する。

セラミックコーティングのガンマ線による付着性と耐電圧の照射効果を調べる。市販のテープは基盤の Hastelloy と REBCO 層の周りに厚さ 20 μm の銅の安定化材が配置されているためセラミック層と界面は銅であるが、純粋な銅の材料よりも表面が荒くなっている。テープよりも膜の付着性は表面の粗さに依存するアンカー効果が非常に大きく作用するため、市販の REBCO テープにコーティン

グしたものを照射サンプルにする。臨界電流測定用サンプルと同じガラスアンプルに封入するので、目標線量は 0.2, 1, 5, 10, 20 MGy の 5 点となる。

3. 結果及び考察、今後の展開等

ガンマ線照射は、コバルト 60 ガンマ線照射施設の第 1 照射棟内第 2 セルにおいて 2020 年 12 月中旬から 3 月末まで行われた。PMMA 線量計を用いた単位時間当たりの線量率の測定結果と実際の照射時間から見積られた照射量は、それぞれ 0.4、1.1、5.5、10.3、14.9 MGy となった。図 1 に 0.4 MGy まで照射された 5 本のガラスアンプル試料の写真を示す。今後、高エネ研において液体窒素中での臨界電流値、耐電圧試験機による絶縁膜の破壊電圧、JIS K 5600-5-7 に準じたプルオフ法による付着強度の測定を行い、ガンマ線による超電導磁石材料の照射効果を評価する。

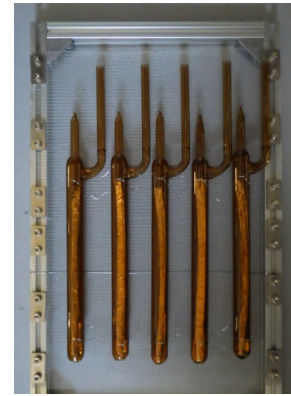


図 1. 0.4 MGy まで照射されたガラスアンプル試料

4. 引用(参照)文献等

- [1] L. Rossi *et al.*, “The EuCARD-2 future magnets European collaboration for accelerator-quality HTS magnets,”*IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 25, no. 3, Jun. 2015, Art. no. 4001007.
- [2] S. Nishijima, and T. Okada, “Radiation resistant organic composites for superconducting fusion magnets,”*Fusion Eng. Design*, vol. 20, 1993, Art. no. 463.
- [3] M. Iio *et al.*, “Research and Development of Future Radiation-Resistant Superconducting Magnets With Mineral Insulated REBCO Coils,”*IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 30, no. 4, Jun. 2020, Art. no. 4600505.