課題番号　2018A-C30
利用区分　成果公開(学術)

LHC 高輝度化アップグレード超伝導磁石向け有機複合材料のガンマ線照射効果 2

Gamma ray irradiation effects on organic composite materials of superconducting magnets for High Luminosity LHC upgrade 2

TAVARES Sandra[1)]　DEL VALLE GRANDE Beatriz[1)]　SOUSA Daniela[1)]　MUSSO Andrea[1)]
中本　建志[2)]　菅野　未知央[2)]　鈴木　研人[2)]
Tatsushi NAKAMOTO　Michinaka SUGANO　Kento SUZUKI
[1)]CERN　[2)]高エネルギー加速器研究機構

（概要）
世界最高エネルギーの陽子・陽子衝突型加速器 LHC は、さらなる性能向上のため HL-LHC 高輝度化アップグレードを行うが、超伝導磁石への放射線線量は 40 MGy にも達する。磁石中の有機複合材料の照射損傷が懸念されるため、磁石設計や材料選定に際しては、想定以上の γ 線照射を行って、安全側に評価することが重要となる。本研究では、HL-LHC 向け超伝導磁石への適用を判定するため、有機複合材料について最大 100 MGy までの γ 線照射を段階的に行い、各種の特性評価試験により、材料の性能限界を実験的に検証する。

キーワード：　HL-LHC，超伝導磁石，有機複合材料

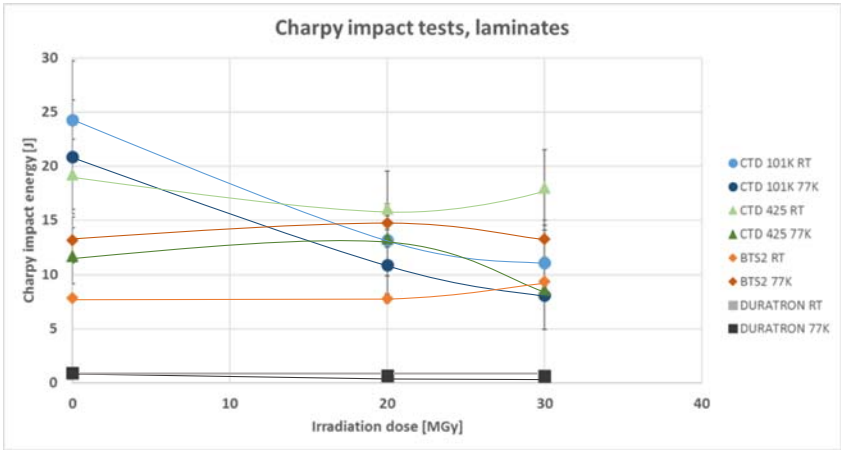
１．目的

欧州原子核研究機構（CERN）の LHC(Large Hadron Collider)は、世界最高の重心系衝突エネルギー13 TeV での陽子・陽子衝突実験を行う、エネルギーフロンティア加速器である。さらなる性能向上のため、超伝導磁石システムを新たにアップグレードさせ、加速器積分ルミノシティを現行の 10 倍に増大させる『HL-LHC 高輝度化アップグレード』計画が進められている。しかし高輝度化のトレードオフで、ビーム衝突点からの二次放射線は飛躍的に増大し、超伝導コイルの吸収線量は 40 MGy にも達する。超伝導磁石の構成材料の中でも、樹脂を含む有機複合材料は放射線に対して最も敏感であり、磁石の寿命を実質的に決定する。したがって、10 年以上にわたる HL-LHC 加速器運転において超伝導磁石を安定して運用するためには、有機複合材料の耐放射線特性を正確に評価し、厳しい放射線環境に耐えられる材料をあらかじめ選定することが大変重要となる。従来から、有機複合材料に対してγ線照射を行った研究は多くあるが、先端加速器用超伝導磁石部品向けの最新材料を対象とする研究は存在しない。本研究の目的は、HL-LHC 超伝導磁石で使用する予定の有機複合材料について、最大 100 MGy までのγ線照射を行い、各種の特性評価試験を通して、材料の性能限界を実験的に検証することである。

２．実施方法

高崎研コバルト 60 ガンマ線照射施設において、常温、空気中で最大 100 MGy までの照射を段階的、系統的に実施する。試料は、HL-LHC 超伝導磁石への採用を検討されている有機複合材料（樹脂 5 種類及びガラス繊維強化プラスチック 8 種類）である。試料ホルダーには、高さ 100mm、幅 15mm のスロットが横方向に 18 スロット、高さ方向に 2 段、合計 36 セット配置されており、各段に目標線量グループ毎の試料を装荷できる。通常 1 スロットに同一種の試料 8 枚を装荷する。試料交換毎に試料ホルダーの正面と背面に最大 20 枚の PMMA 線量計（Radix W）を取り付けて 1 時間の線量率測定を実施し、ほぼ均一の空間線量率であることを確認した。照射後の試料は、CERN において機械特性（3 点曲げ強度、シャルピー衝撃、層間剪断強度）やポリマー特性（ガラス転移温度、熱的安定性、粘度、ミクロ組織観察）を測定する。

３．結果及び考察、今後の展開等



2018 年度までに、10, 20, 30 MGy の各線量の照射は終了している。結果の一例として、有機複合材料の靭性に関する照射線量依存性を示す。なお、シャルピー衝撃試験は、照射試料を常温及び液体窒素温度 (77 K) において実施した。放射線耐性の低いエポキシ樹脂を基材とする CTD101K は、非照射 (0 MGy) では高いシャルピー衝撃値を示すものの、照射量の増加に伴い急速に低下する様子が見られる。一方、CTD425 及び BTS2 では、それぞれ優れた耐放射線性能が期待されるシアネートエステル樹脂及びビスマレイミドトリアジン樹脂を基材としている。CTD425 及び BTS2 のシャルピー衝撃値は、非照射では CTD101K の半分程度だったものの、30 MGy までの照射線量ではほとんど特性劣化が見られないことがわかった。ただし、測定値の上限と下限を示す誤差棒を見てもわかるように、測定値のばらつきが大きいことに注意する必要がある。他にポリアミドイミドを基材とする DURATRON についても試験を実施したが、耐放射線性以前の問題として、もともと極端に低い靭性を示すことが判明した。2019 年度は、現在実施中の 50 MGy と 100 MGy の照射を継続し、系統的なデータを取得する予定である。