

エネルギーフロンティア実験における超伝導磁石の進展

素粒子の世界を描像する「標準模型 (The Standard Model)」は、2012年に The Large Hadron Collider (LHC)によって発見されたヒッグス粒子により、全ての素粒子のピースが埋まった事で完成されたかのように見えた。しかし一方で、暗黒物質等の新粒子の存在や宇宙の物質優勢問題等、標準模型では説明できない課題が残されている。LHCは The Large Electron-Positron Collider (LEP)トンネル (周長 27 km) を再利用した加速器で、重心系エネルギー14 TeV(7+7 TeV)の世界最高エネルギーの陽子衝突型加速器である。この一部の加速器コンポーネントを改良する事で、現行 LHC の性能と比べて5倍以上の衝突数頻度(Peak luminosity)を目指す「High Luminosity LHC (HL-LHC)」計画が2026年より開始される。そして、高エネルギー&高事象(統計)数によって標準模型を超える物理(Physics beyond the Standard Model : BSM)の探索に挑もうとしている。

KEK 超伝導低温工学センターでは2011年より HL-LHC より実装されるビーム分離超伝導双極磁石 (通称:D1) の設計を進めてきた。本磁石は超伝導線材 NbTi ラザフォードケーブルによって巻線したコイルで構成されており、重要な要求性能は、150 mm の大コイル口径、35 T・m の磁場長 (主双極磁場 5.6 T, 温度 1.9 K, 運転電流 12 kA)、想定吸収線量 25 MGy に対する耐放射線性などである。これまでに3台の2 m 長モデル磁石の開発を所内で進めてきたが、2018年に KEK が HL-LHC 計画に正式参加することが決定され、7 m 長の実証機磁石1台と実機磁石6台を製造することが決まった。2020年以降、D1 磁石の実機製造を日立製作所と共に進めており、これまでに実証機1台、そして実機1台の性能評価を済ませている (2023年8月31日時点)。本コロキウムでは、D1 磁石の設計概要と性能試験結果、さらには今後の展望について述べたい。

またコロキウムの後半では将来の磁石開発にも触れたいと思う。数十年先の将来加速器計画を見据えて、世界では最先端の線材・設計技術による超伝導磁石開発が盛んとなっているが、この原動力となっているのが The Future Circular Collider (FCC)の存在である。FCCは設計段階であるが主リング周長は90.7 kmにも及び、陽子・陽子加速器(FCC-hh)の運転で重心系エネルギー~100 TeVを目指す全人未踏の高エネルギーマシンであり、LHCでは到達できない高エネルギー領域におけるBSMの探索が期待されている。磁気剛性を考慮すると偏向磁石の磁場強度は16 T以上の高磁場を要するため、Nb₃Snや高温超伝導体といった新しい線材を取り入れた磁石が必要となってくる。海外の動向についても少し述べるが、日本側のアプローチとしてこの高磁場磁石

開発にどのように切り込んでいくのか、また現状どういうアクティビティがあるのか紹介していきたいと思う。