

原型炉概念設計における超伝導コイル設計検討の進捗

Progress on Superconducting Coil Design on the DEMO reactor conceptual design activity

宇藤裕康¹、藤原英弘²、長谷川満³、野元一宏³、木戸修一⁴、早川敦郎⁵、柳寛⁵、大勢持光一⁵、杉本昌弘⁶、今川信作⁷、伴野信哉⁸、淡路智⁹、馬場貴志²、清水克祐²、辺見努¹、坂本宜照¹、UTOH Hiroyasu¹、FUJIWARA Eiko²、HASEGAWA Mitsuru³、NOMOTO Kazuhiro³、KIDO Shuichi⁴、HAYAKAWA Atsuro⁵、YANAGI Yutaka⁵、OOSEMOCHI Koichi⁵、SUGIMOTO Masahiro⁶、IMAGAWA Shinsaku⁷、BANNO Nobuya⁸、AWAJI Satoshi⁹、BABA Takashi²、SHIMIZU Katsusuke²、HEMMI Tsutomu¹、SAKAMOTO Yoshiteru¹

¹量研, ²三菱重工業, ³三菱電機, ⁴日立, ⁵東芝エネルギーシステムズ, ⁶古河電工, ⁷核融合研, ⁸物材機構, ⁹東北大

¹QST, ²MHI, ³MELCO, ⁴Hitachi, ⁵Toshiba ESS, ⁶Furukawa Electric Co., ⁷NIFS, ⁸NIMS, ⁹Tohoku Univ.

現在、原型炉設計合同特別チームでは、第2回中間チェックアンドレビューに向け原型炉概念を設計中である。日本の原型炉(JA DEMO)の超伝導トロイダル磁場(TF)コイルはITERよりも大型のコイルで高磁場を生成する必要がある、要求仕様を満たした上で製作コストの合理化を図る必要がある。そのため、製作コスト低減に向けたTFコイルオプション検討やコイルの寸法に起因する課題の明確化など、主要課題を中心に検討を進めている。

製作コスト低減に向けたTFコイルオプション検討では、有望な代替オプションとして矩形導体レイヤー巻を検討している。矩形導体レイヤー巻TFコイルでは、ITERのダブルパンケーキ巻方式と比較して電流リードの口出し部の構造が複雑になり、且つコイルケースを切欠く必要があるため、限られた空間で電磁力支持と整合する構造を取れるかが課題であった。そこで、電流リードの口出し部の構造とコイルケースの切欠き構造の概念検討を行い、構造解析によりその妥当性を評価した。コイルケースへの影響が小さい構造として、巻き線部内にジョイント部を収める構造を採用し、切欠部のケース強度を補う平板状カバーをケースの両面に溶接する構造とした。FEM解析で評価した結果、TFコイル全体の変形への影響は小さく、補強用カバーの応力も許容値内に収まっており、本構造で強度的にも成立する見込みが得られた。

コイルの寸法に起因する課題については、原型炉発電の早期実現等の観点から製作性が懸

念されており、このような背景を踏まえ、原型炉設計合同特別チームの活動の一環として「原型炉TFコイル寸法検討会」を立ち上げ、製作メーカーを含め「製作が見通せる」原型炉TFコイル仕様の策定を目指し検討を行っている。検討会では、メーカーにおけるITER-TFコイル製作実績を例に、製作上コイル寸法を制限しうる技術的要因と製作コスト、製作期間について、ITER-TFコイル並の寸法のコイルとJA DEMOのコイルに対して評価した。現行JA DEMOのTFコイル寸法では、特にコイル一体化工程において技術的難易度が増えることに加え、製作コストは磁気エネルギー比で概算するとITER-TFコイルの数倍となり、製造ラインを複数設けてもコイル製作のみで10年前後の期間(さらに材料調達、製造設備の建設・立ち上げ期間が必要)がかかる見込みであることが指摘された。これらを踏まえ、本検討会では原型炉用TFコイルはITER-TFコイル寸法を大きく超えない範囲を目指すべきとの結論に達した。さらに、目標コイル寸法のTFコイルにおいても、原型炉のミッションを達成しうる原型炉TFコイル仕様を示すべく検討を進めている。検討では、小型炉でのTFコイルの高磁場化を念頭に超伝導線材はNb₃Sn線材を仮定し、技術的に見通しうる性能としてITER-CS用素線の約2倍の電流密度を想定し協議している。これらの検討を通じて、目標コイル寸法の原型炉TFコイル仕様とこれらを実現するために必要なR&D項目を明確化する予定である。