

【ITER 超伝導トロイダルコイル (TF コイル) の開発】

核融合実験炉 ITER の超伝導マグネットシステムは、直径約 30 メートル、重量約 1 万トンに及ぶ巨大なシステムであり、その中で周方向に 18 機をドーナツ状に配置する D 型コイルが TF コイルです (図 1)。TF コイルは、プラズマを閉じ込めるための強力な磁場を生成する中核機器であり、その信頼性は ITER 全体の成立性を左右する最重要要素の一つとなっています。日本は、TF 導体の 25%、全 19 機分の TF 構造物、および 9 機の TF コイルの製作を担当しました。

TF コイルは、高さ 16.5 メートル、幅 9.2 メートル、重量 310 トンの巨大な超伝導コイルです。コイルは、最大磁場 11.8 テスラを発生させる巻線部と、直線部に作用する最大約 6 万トンに及ぶ電磁力を支持する構造物から構成されています (図 2)。巻線部は、「ダブル・パンケーキ」と呼ばれる 2 層構造の巻線を 7 枚積層した構造であり、各ダブル・パンケーキは、D 型に巻かれた超伝導導体と、その導体を収める溝を有するラジアル・プレートから成ります。TF コイルに使用されるニオブ 3 スズ超伝導導体は、ITER 参加極のうち日本、欧州、韓国、米国、ロシア、中国で製作されました。各国で製作された導体および日本が全 19 機を製作した構造物は、日本および欧州の TF コイル製作拠点に輸送され、TF コイルの製作に用いられました。

日本は 2008 年に ITER 機構と TF コイルの調達取決めに締結し、QST は産業界と連携して約 15 年にわたり TF コイルの開発を進め、2023 年に全 9 機の TF コイルの製作を完遂しました (図 3)。TF コイルは当初、その実現が困難と指摘されていましたが、日本の研究機関と産業界の多くの関係者が、フュージョンエネルギーの実現に向けた強い情熱と使命感のもと、この挑戦に取り組んできました。その過程では、巨大構造物でありながらミリメートル精度を要求される製作技術、11.8 テスラの強磁場下で 6 万 8 千アンペアの大電流を安定に流す超伝導技術、さらに耐放射線性を有する電気絶縁材料の開発など、多くの困難な課題に直面しましたが、それらを一つ一つ着実に克服しました。

このように TF コイルの開発は、単なる装置製作にとどまらず、超大型・高精度・極低温・大電流・強磁場という複合的な技術領域を融合した総合工学的挑戦でした。その成果は、ITER 計画の進展に不可欠であると同時に、将来のフュージョンエネルギー開発に向けた基盤技術としても極めて重要な意義を持つものです。

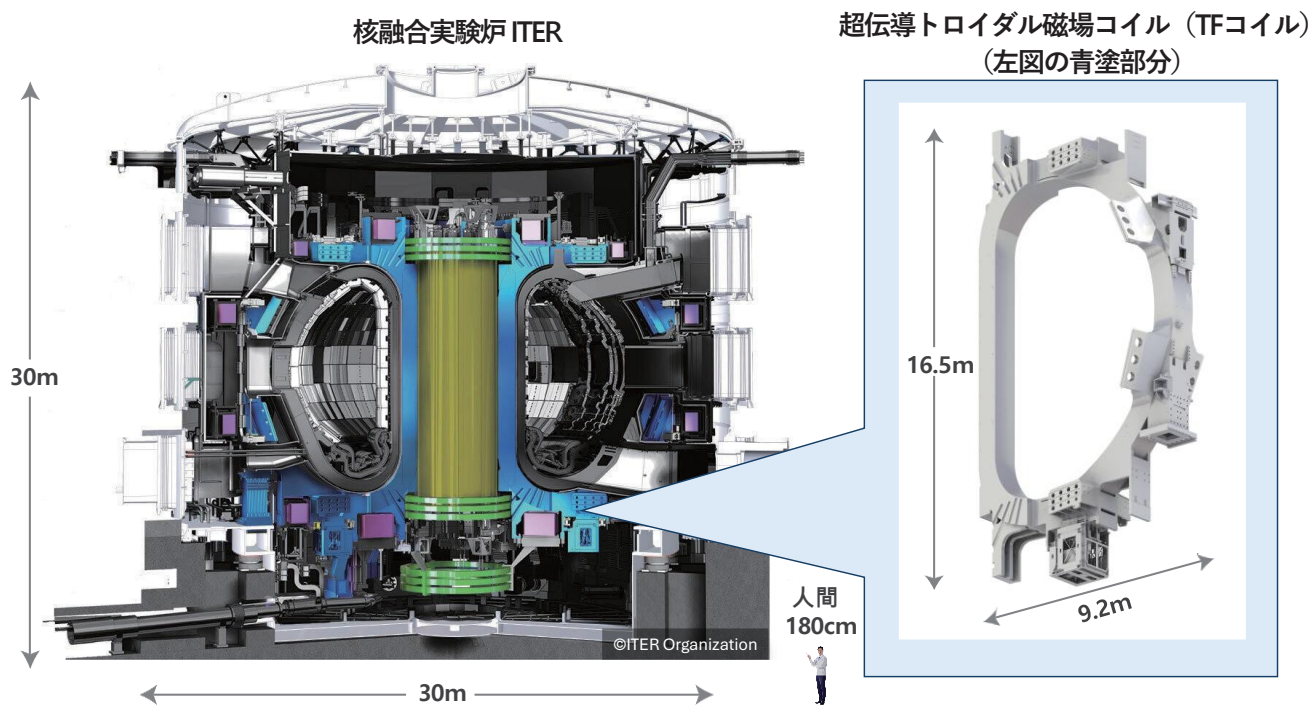


図1 核融合実験炉 ITER 本体と TF コイル

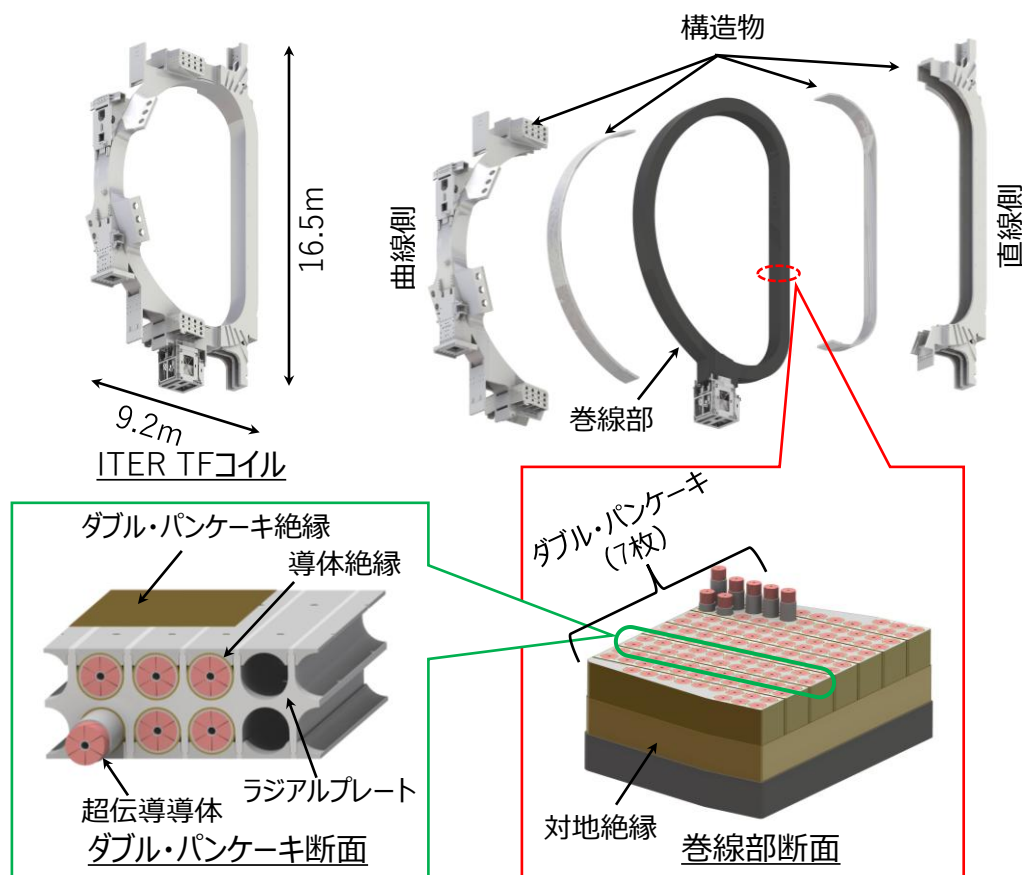


図2 TF コイルの構造

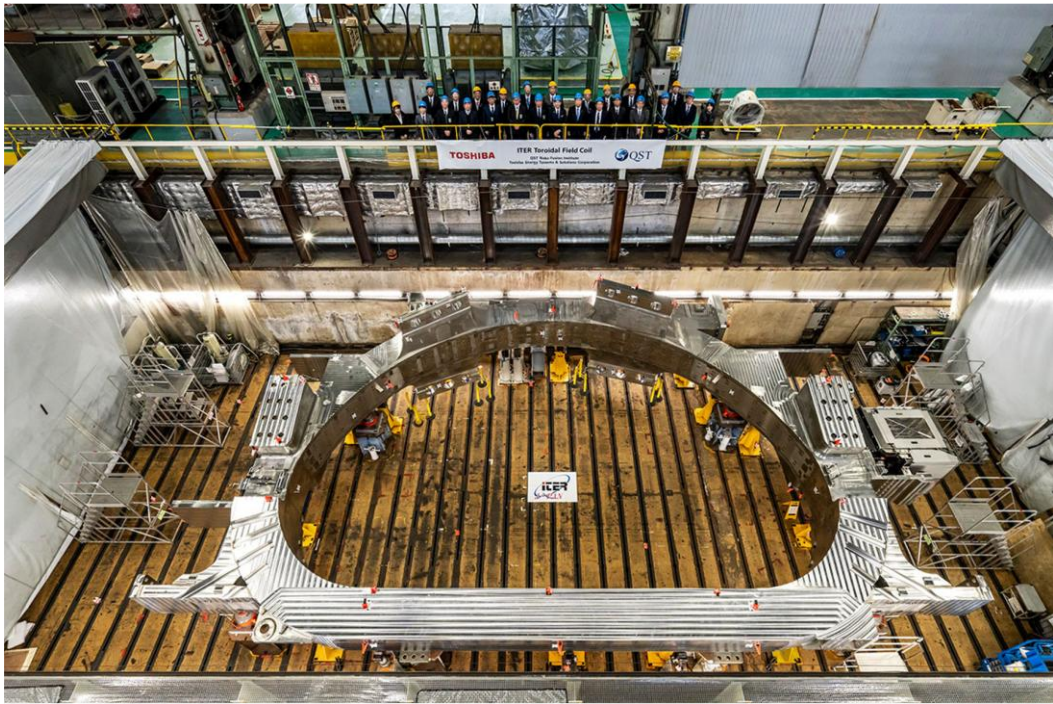


図3 完成したTFコイル

以上