

組立が進むJT-60SA装置

Progress in the construction of JT-60SA with superconducting magnets

花田 磨砂也 JT-60SAチーム
Masaya Hanada and JT-60SA Team

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構
National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology

本文

那珂核融合研究所では、幅広いアプローチ活動として日欧共同で実施するサテライト・トカマク計画と、我が国のトカマク国内重点化装置計画の合同計画であるJT-60SA計画を進めている。JT-60SAは、現在、臨界プラズマ試験装置JT-60の一部施設を再利用し、平成32年の初プラズマを目指して建設中である。JT-60SAの目的は、ITER運転シナリオの最適化等のITERの支援研究、高プラズマ圧力、高自発電流割合プラズマの運転・制御・長時間維持手法の開発等のITERの補完研究を通してトカマク型原型炉設計を進め、核融合エネルギーの早期実現を図るとともに、核融合研究開発をリードする人材を育成することである。この目的を達成するために、現在、量研那珂核融合研究所において、超伝導コイルを有する世界最大のトカマク装置を建設している。

本講演においては、トカマク装置を構成する機器の製作及び組立技術を報告するとともに、組立の進捗現状や今後の計画について述べる。

JT-60SA装置の概要と課題

JT-60SA装置は世界最大のトカマク装置(全体直径: 12m, 全体高さ15.5m)である。図1に示すように、JT-60SA装置本体の主要機器は真空容器、熱遮蔽体、トロイダル磁場(TF)コイル、平衡磁場(EF)コイル、センターソレノイド(CS)等である。これらの内、特に超伝導コイルに対しては、極めて高い精度での機器の製作や組立が要求されており、これらのコイルによって生成される誤差磁場を、トロイダル磁場に対して 10^{-4} (数ガウス)以下に抑制することが求められている。具体的には、直径が10 mを超える大型超伝導コイルを、数mmの精度で製作し、本体機器に組み込むことが求められている。

製作及び組立技術の開発

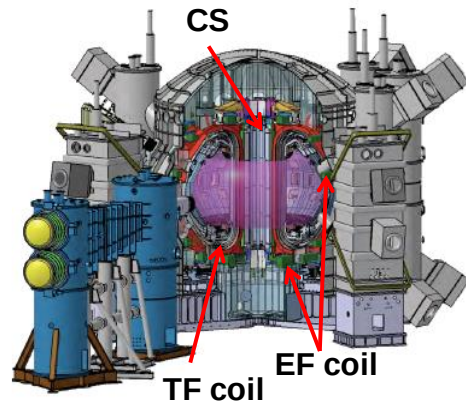


図1 JT-60SA

JT-60SAに設置される3種類の超伝導コイルについては、TFコイル18体を欧州で、EFコイル6体及びCS1体を日本で製作した。TFコイルについては、導体の巻線技術や熱処理技術、コイルケースや構造物の溶接及び加工技術などを新たに開発した。専用の巻線機を開発するとともに溶接変形を抑制するためのツインレーザー溶接方法を採用し、高さ7.5 m, 幅4.5 mのD形状のNbTi製超伝導コイルを±2mmの精度で製作した。EFコイルについては、工場で製作した後陸送することが困難なために、那珂核融合研究内に専用の製造ラインを整備し、専用の巻線機を開発し、直径が異なる6体(直径: 4.4m~12 m)のNbTi製円環コイルを1mm以下の精度で製作した。さらに、CSについては、相互に絶縁された4つのNb₃Sn製コイルモジュールを、専用の治具を用いて精度良く積層するとともに、冷却時及び通電時に作用する電磁力や熱応力に耐えるために、4つのモジュールを37.8Nの力締め付けており、直径は約2m, 全長は7.7mの超伝導コイルを±1.0 mmの精度で製作した。

組立技術の開発

図2にTFコイル、EFコイル、CSコイルの配置

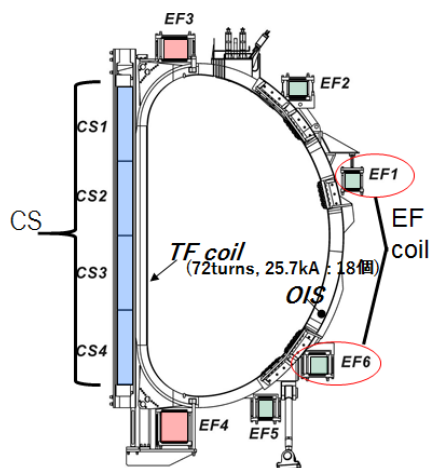


図2 TF、EF コイル、CS の取り付け位置

を示す。EFコイルはTFコイルの外側構造物 (OIS) 上のブラケットに設置される。また、CSコイルについても、TFコイルの内側構造物を基準に設置されるため、誤差磁場を許容値以下に抑制するためには、TFコイルを極めて高い精度で設置することが求められている。

そこで、図3に示すように、設置位置合わせのために、新たにコイルの半径及び高さ位置を固定するためのガイドリングや円周方向の位置や傾きを固定するためのクラ型治具など製作した。これらの治具を用いて、位置決めした後、レーザートラッカーでTFコイル上の複数の位置を詳細に測定し、必要に応じて、微調整用薄板（シム）を用いて、位置出しのための微調整を行った。その結果、TFコイルを±1mmの精度で取り付けすることに成功した。その結果、製作誤差を含めても、±3mmという極めて高い精度を実現している。また、TFコイル上に設置された真空容器上部の3体のEFコイル (EF1, 2, 3コイル) も、±2mmの高精度で設置された。真空容器の下部に仮置きされている3体のコイル (EF4, 5, 6コイル) については、今後、位置合わせを実施する予定である。

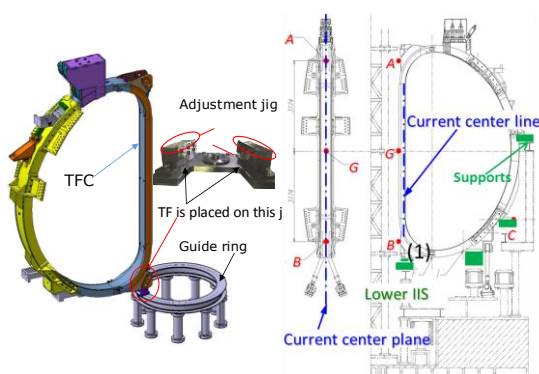


図3 TF コイルの取り付け治具

組立の現状と今後の計画

JT-60SAの組立は2013年5月のクライオスタットベースから開始しており、その後、真空容器の下部に位置するEF4, 5, 6コイルを仮設置した。その後、2015年8月までに、真空容器の340°の製作を終了し、その外側に熱遮蔽体を取り付けた後、真空容器の20° 開口部を通して、TFコイルを挿入し、旋回コイルを用いて、所定の位置に設置した。欧州からの製作進捗に合わせて順次コイルを真空容器周りに設置し、最後の18体のTFコイルの設置を2018年4月に終了した。最後の18体目のコイルの設置に当たっては、外側に熱遮蔽体を取り付けた真空容器の20° セクターとTFコイルを一体化したものを、真空容器の20° 開口部に挿入した。18番目のコイルの位置決めをした後に、真空容器最終セクターを2018年7月に溶接接続した。これにより、真空容器は完全に閉止され、組立工程上の大きなマイルストーンを計画通りに達成した。その後、約1か月を要して、真空容器上部に位置するEF1, 2, 3を取り付けた (図4)。現在は、真空容器周りのポート台座、ポート熱遮蔽体、真空容器内の電磁気センサーを取り付けている。今後、同作業を継続し、2019年1月中旬以降からCSの取り付けを行い、同年3月よりクライオスタット胴部の組立を開始し、2020年3月までに装置を完成する予定である。

まとめ

JT-60SA の機器製作及び組立は計画通りに順調に進展しており、工程上の大きなマイルストーンである真空容器の閉止を2018年7月に達成した。今後、センターソレノイドやクライオスタットの設置などを設置し、2020年の3月までに装置を完成させ、9月にファーストプラズマを実現する。

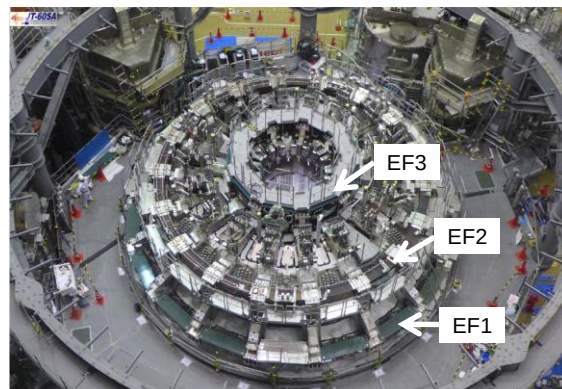


図4 現在の JT-60SA