

JT-60SAコミッショニングにおける機器動作の検証 Validation of JT-60SA components in integrated commissioning

森山伸一、JT-60SAチーム
Shinichi Moriyama and JT-60SA Team

量子科学技術研究開発機構
National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST)

はじめに

現状で世界最大のトカマク装置JT-60SAは2020年3月に本体の組立を完了した。日欧協力のサテライトトカマクと国内重点化装置の両方の位置づけを持つ同装置は、2008年のJT-60U実験運転完遂以降、設計、解体、機器製作、組立の工程を着実に進めることにより完成した。2020年4月からは、周辺機器の整備と統合コミッショニングを並行して進めてきた。コイルファイダーの耐電圧試験、真空排気、真空リーク試験、コイルクールダウンの各過程を通して行ってきた機器動作の検証について報告するとともに、プラズマ着火に向けて進む機器の準備状況について紹介する。

本体組立の完了

JT-60SA装置の製作と組立に際しては、プラズマ物理側面からの要求性能として、誤差磁場をトロイダル磁場の1万分の1以下に抑制することが求められた。2019年12月には、中心ソレノイド(CS)の精密位置決めを行った。5月に挿入した際に現場で採寸し、その後製作した固定脚を用いて、トロイダル磁場(TF)コイルの内面で囲まれた装置中心に固定した。配管類も含めた全長が10mを超えるCS外表面とTFコイル内面との隙間はわずか15mmであったが、CSの外表面に取り付けた接触センサーやCS中心位置を常時監視するレーザー測量計を用いて、CSの中心位置を精密に制御し、TFコイルと接触すること無くCSを挿入した。挿入後、CSの電流中心位置は装置中心に対して、 $-0.3\text{mm}\sim 0.8\text{mm}$ の精度で設置されており、要求精度($<\pm 2\text{mm}$)を十分に満足させることができた。

2020年1月から3月にかけて上部クライオスタット熱遮蔽体の設置、ポート全19体、超伝導コイル用端子箱全5体、冷媒用バルブ箱全11体の組立を実施した。最後の主要機器であるクライオスタット上蓋については、本体室に隣接す

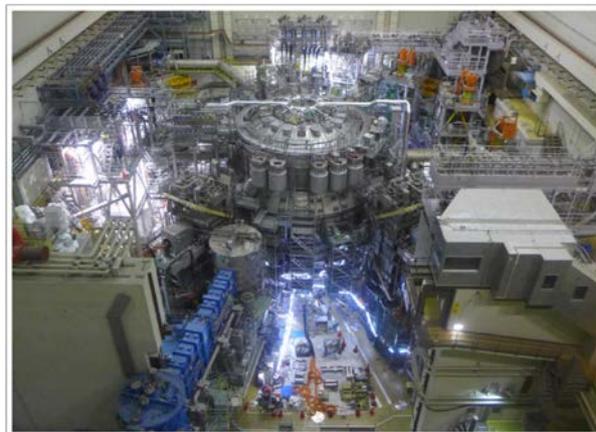


図1 完成した JT-60SA トカマク



図2 第一壁や計測機器が設置された真空容器内

る組立室での一体化を行い、3月末までにトカマクに上架した。クライオスタット上蓋は、直径11.5m、重量45トンの大型機器であるが中心の組立精度は2mm以内を達成し、本機器の組立をもってJT-60SA本体の高精度組立が完了した(図1)。

真空容器内についても図2に示すように、統合コミッショニングに必要な第一壁や電磁気計測機器の設置が完了した。これらは、レーザー測量計を用いて位置決めされ、計測機器は、プラズマの位置や形状を高精度で測定することができる。

周辺機器の整備

3月の本体完成に続き、4月からは、周辺機器の整備と機器のコミッショニングを並行して進めた。超伝導コイルに冷媒を供給するクライオライン、冷媒配管、電流を供給するフィーダーなどの取付け作業を実施した。さらに、配管のバルブ類、計装配線等、本体と周辺機器の間のインタフェースを整備する作業を進めた。一連の作業においては、機器個別の真空リーク試験、溶接の検査を接続箇所ごとにきめ細かく行うことを徹底し、作業工程の手戻りを防いだ。超伝導フィーダーについては、接続箇所の耐電圧を確認することを目的として、コイル／フィーダー／計測線に一括で電圧を印加する試験を実施した。機器に発生する電磁力低減等の目的で、クライオスタット内機器は、個別に電気絶縁が確保されるが、これを確認する試験も作業の進捗に合わせて頻繁に行った。新型コロナウイルス感染拡大の影響を受け、作業人員の確保が想定通り行えなかったため、これら作業の進展は計画より遅れたが、9月には真空容器及びクライオスタットの作業用マンホールを全て閉止することができた。

真空容器に取り付けた電子サイクロトロン加熱装置（ECH）のランチャー（図3）は、導波管によりジャイロトロンと接続された。超伝導コイル冷却の影響を受けてランチャー冷却システムが凍結することを防ぐために、冷媒には融点の低い冷媒を用いた。

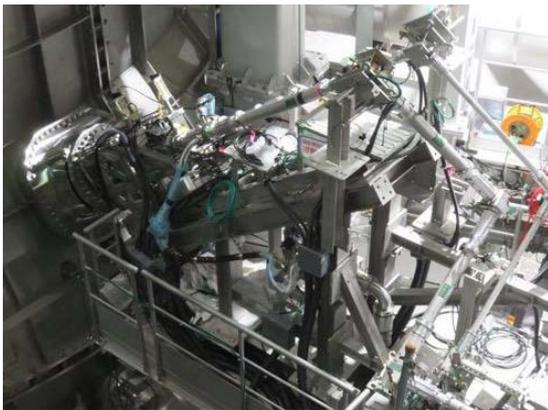


図3 導波管接続が完了した ECH ランチャー

統合コミッショニング

9/14に真空容器、9/15にクライオスタットの排気を開始した後、真空リーク試験を実施した。真空容器は261ヵ所、クライオスタットは269ヵ所のリーク量を計測し、所定のリーク量以下であることを確認して試験を完了した。1ヵ所の

補修箇所以外のリークは、閉止締結ボルトのトルク増のみですべて合格となった。最初の真空排気開始からリーク試験の完了までに要した期間は予定していた15日間に対して9日間であった。前述の「個別リーク試験を組立時に徹底する方針」が功を奏し、統合コミッショニング期間の短縮につながったと言える。

10/10からはクライオシステムを稼働させ、超伝導コイルの冷却を開始した。機器間に大きな温度差がつかないように冷媒の入口温度と最高温度の差を35度以下に保つべく、注意深く冷却を行っている。冷凍機を製作した欧州側と毎日TV会議を行って、冷媒の温度や流量分配の詳細について綿密に相談をして冷却の方針を決定している。コイルには10Aから20Aの低電流を通電して抵抗を常時測定し、温度の目安とするとともに、超伝導状態への遷移を確認する。

ECH装置では、導波管系の偏波特性試験、伝送効率測定が進行中であり、トカマクへの入射の準備が整いつつある。ランチャー温度を随時監視しているが現在のところ超伝導コイル冷却の影響は小さく、冷媒凍結の心配はない。

超伝導コイル電源では、主電源にクエンチ保護回路やスイッチングネットワークユニット、ブースター電源を組み合わせた、模擬負荷向けの動作試験を11電源すべてについて完了した。コイルへの切り替え作業を行って、コイル通電試験開始に備えている。

まとめ

世界最大のトカマク装置であるJT-60SAの組立が2020年3月に完了し、4月から統合コミッショニングを開始した。真空容器及びクライオスタットの真空排気とリーク試験が順調に進捗し、超伝導コイルの冷却を開始した。冷却の完了後、真空容器の200°Cベーキングを行い、コイル通電試験を慎重に実施した上で、ファーストプラズマを目指す計画である。