

## JT-60SA統合コミッショニングおよび増力計画 JT-60SA Integrated Commissioning and Enhancement Plan

高橋 幸司<sup>1</sup>、JT-60SA統合事業チーム  
Koji Takahashi<sup>1</sup>, JT-60SA Integrated Project Team

<sup>1</sup>量子科学技術研究開発機構  
<sup>1</sup>National Institutes for Quantum and Technology

### JT-60SAの現状

日本のトカマク方式核融合研究における国内重点化装置計画と日欧共同で進めている幅広いアプローチ活動におけるサテライト・トカマク計画の合同計画として進められているJT-60SA計画では、核融合炉の早期実現を目指し、その達成のために下記3つのミッション

- (1) ITERの技術目標達成のための支援研究
- (2) 原型炉に向けたITERの補完研究
- (3) ITER、あるいは原型炉における研究開発を主導する人材の育成

を掲げ、JT-60SAの研究成果を効率的にITER計画へ反映させて進めることや、経済性の高い原型炉の運転・制御手法の確立に役立つ。2013年に組立を開始し、7年もの歳月を経て2020年3月に装置組立が完成した(図1)。また、2021年には日本側2名と欧州側1名から成る実験チームリーダーが、2022年には日欧からそれぞれ3名ずつから成るとピカルグループリーダーが選出され実験計画について議論を初めている。

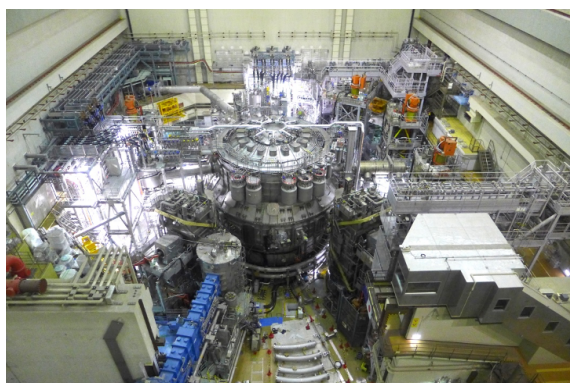


図1 大型超伝導トカマク装置：JT-60SA

JT-60SA完成後、構成する全設備の機能と健全性を確認するための統合コミッショニング(統合試験運転)を進めてきた。真空容器、および真空容器と超伝導コイルを格納するクライオスタット容器の真空排気、冷媒として用いるヘリウムの精製運転、超伝導コイルの冷却(超伝導転移)、高周波加

熱装置の基本動作など、ほぼ設計どおりの性能が得られることを確認できた。超伝導コイル通電試験においては、統合コミッショニングの重要なマイルストーンであるトロイダル磁場(TF)コイルの定格電流(25.7kA)の通電に成功し、4系統ある中心ソレノイド(CS)コイルと6系統ある平衡磁場(EF)コイルについては5kAの通電に成功している。一方、CS、EFを用いるプラズマ制御運転を想定した5kVの電圧調整試験では、CS全4系統とEF5系統まで問題なく試験が完了したが、最後のEF1の調整運転中に短絡事象が発生した。コイル電源はインターロックにより即座に停止したが、短絡時の電流は350Aであり、1.6秒で減衰しながら60kJほどの



図2(a) EF1ターミナルジョイント(改修後)



図2(b) TFターミナルジョイント(改修前後)

エネルギーを短絡部で消費し、EF1コイルと回路を繋ぐ接続部が損傷、統合コミッショニングの中断を余儀なくされた。その再開には接続部の改修が必要であり、十分な絶縁性能の確保、ならびに再発防止の観点から、損傷した接続部、および損傷はしていないが同種の構造を有するCSコイル、EFコイル、およびTFコイル全84箇所の接続部などの改修(絶縁強化)を進めてきた。図2に損傷したEF1の接続部(a)、TFコイルの接続部(b)の改修後の写真を示す。これらは、放電し易い圧力条件(1~1000 Pa)で個別に実施した耐電圧試験(部分パッシェン試験)で全数合格した。

これらの改修後、超伝導コイル全13系統について絶縁性能を確認すべく、パッシェン試験を行なった。放電が発生した場合に備え、発生箇所が特定できるように約140個のウェブカメラをクライオスタット内に設置した。試験ガス種は、万一放電しても損傷するリスクを低く抑えるため、放電電圧が最も低い特性を有するアルゴンを使用した。電圧印加には、短絡時の電流検出で電圧印加を即座に停止する機能を有する絶縁抵抗計を用いた。

図3にCS2ターミナルジョイント付近で観測され

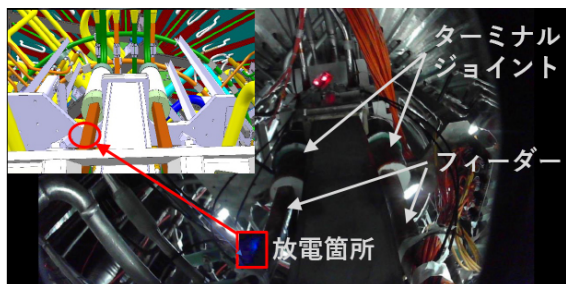


図3 ウェブカメラで捉えた放電映像(CS2)

た放電の写真を一例として示すが、このような放電がいずれの系統でも観測された。詳細な調査の結果、絶縁強化を行なった箇所とは異なるところで放電していることが判明、つまり、絶縁の弱い箇所が改修した場所以外にも存在することが明らかとなった。そこで、当面の間は超伝導コイル全てをパッシェン放電が起きないような絶縁性能を担保することは追求せず、その代わりにクライオスタット容器の圧力上昇を高速で検知し、パッシェン条件に至るより前までにコイル通電を迅速に停止するためのインターロックシステムを取り入れることとした。また、大気圧力下での耐電圧試験には全系統が合格しており、これは高真空下での耐電圧性能と等価であると考えられるが、さらに高真空・低温(4K)下、すなわちコイルの超伝導状態下での耐電圧試験を実施し、運転条件での耐電圧性能を確認することでリスク低減を図る方針とした。但し、TFコイルは

終日通電を行うことから、パッシェン放電や短絡事象が発生した際のリスクが甚大となる可能性が高いため、TFコイルについては運転再開前までパッシェン性能を確保すべく絶縁強化を実施する。EF、CSについては、観測された絶縁不良箇所のうち、正負極が近接する箇所はEF1と同様の短絡事象発生リスク低減の観点から絶縁強化する。このように、絶縁補強とパッシェン放電や短絡の発生リスクを低減する対策の両方を図りながら統合コミッショニングを再開する方針である。

### JT-60SAの増力計画

超伝導コイルの通電試験や初プラズマなどを含む統合コミッショニングの完了後、必要な機器整備を2年ほどかけて行い、初期研究フェーズとして、プラズマ電流5.5 MAダイバータプラズマで定常運転(100秒)を目指すと共に、ITERにおけるディラプション回避や緩和、ELM緩和などのリスク低減、あるいは効率的な運転に必要な研究を進める。整備する機器は、グラフィットターゲットを有するダイバーターや安定化板、プラズマ位置制御や誤差磁場補正用の炉内コイル、計測装置の製作据付、加熱装置の増力などを行う計画である。図4に製作中のダイバータカセットを示す。加熱装置については、電子サイクロトロン波加熱装置の入射パワーを倍増し3MWに、中性粒子ビーム加熱装置については、JT-60Uで使用していた機器を再稼働させるが、正イオン源、およびビームラインについては、100秒運転に対応可能な改造を実施する。総入射パワーは19 MWである。

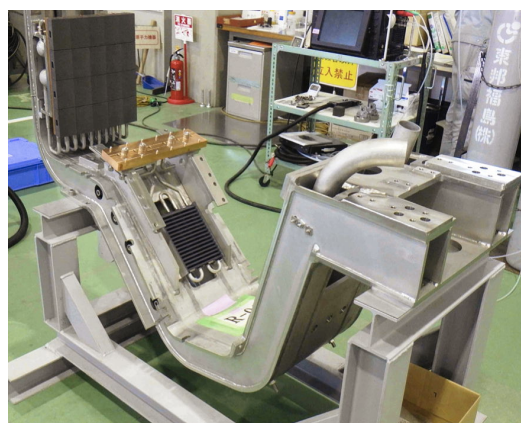


図4 製作中のダイバータカセット

本講演では、JT-60SA 統合コミッショニングでこれまで達成した結果のまとめ、コミッショニング再開に向けたコイル補修とグローバルパッシェン試験の結果、および装置増力を含む今後の計画について報告する。