

ITERだより (87)

1. TF コイル 4 号機の出荷

量子科学技術研究開発機構（以下、量研）は、日本が調達責任を有する ITER 向けの 9 機のトロイダル磁場（TF）コイルの製作を進めている。2021 年 1 月に完成を報告した TF コイル 4 号機が、製作が行われた三菱重工業(株)二見工場から同 1 月に出荷され（図 1）、神戸港を出発し、海上輸送及びフランス国内での陸上輸送を経て、3 月に ITER 機構へ無事到着した。

TF コイル 4 号機は、1 月の報告でも記載のとおり真空容器内のプラズマ電流を計測するロゴスキーコイルを搭載する 4 機の TF コイルの内、初めて完成したものであるため、その ITER 機構到着は大きな成果として、ITER NEWSLINE でも取り上げられた（<https://www.iter.org/newsline/-/3591>）。

約 2 ケ月に亘る海上及び陸上輸送によって、梱包を含め約 400 トンと非常に重い TF コイルを ITER 機構まで輸送するため、TF コイルは悪天候や輸送時の衝撃などといった過酷な環境にさらされる。特に港湾での作業時に悪天候にさらされる可能性が高いため、輸送梱包についても、水抜き用のドレーンを設置したり、強風の影響が少なくなるようにシートの巻き方を工夫したりといった対策を重ねてきた。このような対策によって、ITER 機構到着時の現物確認では梱包内部への水の侵入や TF コイル本体及び付属品の損傷も確認されず、改善の成果が見られる結果となった。

当該号機は三菱重工業(株)で製作する 5 機のうち、3 機目の TF コイルであり、安定した品質で製作が進められた。同工場 4 機目の TF コイル 6 号機についても機械加工が完了し、最終検査が行われている。TF コイル 6 号機については、5 月の完成を予定している。また、並行して製作を進めている東芝エネルギーシステムズ(株)においても TF コイル製作が進んでおり、日本における TF コイル製作は着実に進捗している。



図 1 出荷時の TF コイル 4 号機。

2. ITER サイトでの ITER 組立進捗状況

TF コイル 3 機目が ITER サイトに到着したが、すでに到着している日本製 TF コイル 2 機の内 1 機の組立前準備作業が終了し、もう 1 機も 4 月下旬に終了する。これと平行して行われていた真空容器や真空容器サーマルシールドの組立前準備作業も進展し、3 月下旬に主要機器の本格的組立が開始された。まずは真空容器が縦置きになり（図 2）、SSAT（Sector Sub-Assembly Tool）と呼ばれる組立ツール上に設置された（図 3）。40° セクター単位であるこの真空容器初号機は韓国製で、縦 14 m、幅 8 m、重量 440 トンもの大きさと重さをもつ。このような超巨大な機器の扱いは初めてであり、慎重に準備作業が行われ、4 月 6 日に SSAT 上に設置された。この後、SSAT 上で真空容器サーマルシールドの組立（韓国製）、TF コイル 2 機（日本製）の組立が行われる予定である。

トカマクピットにおいては、クライオスタットベース設置後の TF コイル支持脚、下部サーマルシールドの設置など様々な作業が進んでいる。中でも真空容器や TF コイルの組立を支える中心支柱の設置は SSAT から移動されるセクター（40° 分の真空容器、サーマルシールド、TF コイル 2 機が一体になったもの）をトカマクピット内



図 2 真空容器縦置き作業。



図 3 真空容器の SSAT への設置。

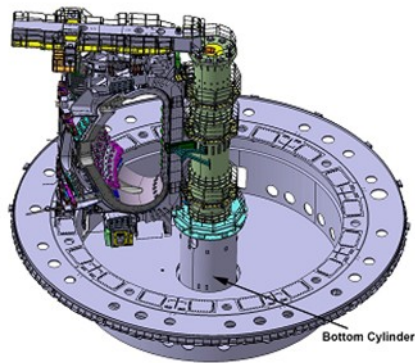


図4 トカマクピット内セクター配置図。



図5 トカマクピット内下部シリンダーの設置。

で支えるために重要なもので、下部シリンダーが設置され、急ピッチでセクター受け入れの準備がトカマクピット内で行われている（図4、図5）。

3. 核融合設備規格超伝導マグネット構造規格の原案・改訂案の策定

ITERの建設サイトが決定される前、ITERを日本に建設するためには、ITERで使用する機器の構造健全性を担保しつつ、ITERの合理的な建設を実現する核融合設備規格が必要であることから、2002年7月に日本機械学会 発電設備規格委員会の下に核融合専門委員会が設置され、安全機器である真空容器の規格の策定が開始された。2005年にフランスに建設サイトが決定するとともに、日本がTFコイルの構造物を全量製作することになったため、真空容器の規格に代わり、核融合設備規格超伝導マグネット構造規格の策定が開始された。この規格は2008年に初版が発行、その後、2013年、及び2017年に改訂版が発行された（図6右上）。

超伝導マグネット構造規格は、一般要求、材料、設計、製作、非破壊試験、耐圧・漏れ試験等に関する規定で構成されている。特に、材料規定は、量研（原研、原子力機構を含む）での長年にわたる極低温構造材料の開発・評価に関する研究の実績を生かし、超伝導コイルが運転される液体ヘリウム温度（4K）までの設計強度を規定した世界に類を見ない規定となっている。これにより、高価な液体ヘリウムを使用した4Kでの試験の実施を不要



図6（左）中嶋専門業務員、（右上）原案・改訂案の策定に貢献した核融合設備規格超伝導マグネット構造規格、（右下）原案の策定に貢献した日本工業規格。

とし、製作の合理化を実現した。また、この規格には、国際的適用を目指して英訳版が附属されており、ITERのTFコイルの容器材料に、この規格の材料規定が適用され、ITERのTFコイル実現の一助となった。

さらに、機械学会での活動以外では、液体ヘリウム中での構造材料の引張試験、弾塑性破壊靱性試験、及び疲労試験の試験方法に関する日本工業規格（JIS）の原案策定にも貢献した（図6右下）。特に引張試験方法は、米国標準局との協力で原案を策定しており、この原案は日本ではJIS規格、米国ではASTM規格へと発展した。また、ITERでの超伝導マグネット調達活動を通じて、超伝導マグネット規格を国際的に周知させた。

上記に示す規格策定活動が評価され、ITERプロジェクト部の中嶋秀夫専門業務員は3月23日、「核融合設備規格超伝導マグネット構造規格の原案・改訂案の策定への貢献」で、基準・規格類に関する国際交流や国際的地位の向上、もしくは我が国の標準化事業への発展に顕著な貢献に対して贈与される「日本機械学会標準事業表彰国際功績賞」を受賞した（図6左）。

日本機械学会での規格策定活動の最終目標は、核融合設備規格の構築であり、超伝導マグネットの規格はその第一歩に過ぎない。量研では、規格策定活動へ今後も貢献することで、日本での原型炉の建設、さらには、核融合工学技術の体系化、普遍化を目指していく。

4. ITER 職員募集オンラインセミナーを開催

2021年3月19日、ITER職員募集オンラインセミナーを開催し、ITER機構の広報担当者、人事担当者、首席戦略官の3名とのライブ中継によりITERプロジェクトの概要や近況、ITER人事部から見たITERプロジェクトに求める人材などの説明を行った。大前敬祥首席戦略官からはITER機構で働く醍醐味や業務の特徴・特色、キャリアについて説明の他、南フランスでの生活などプライベート

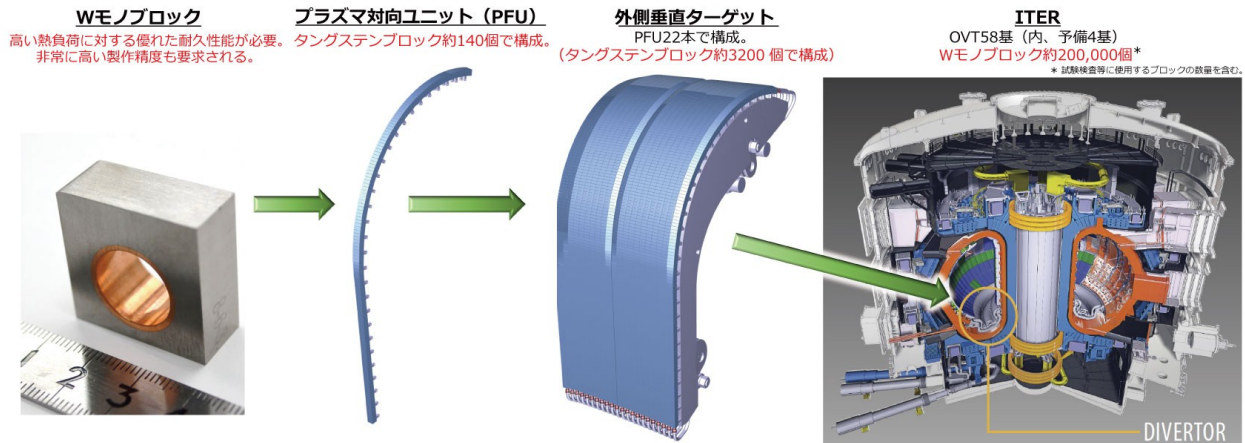


図 7 ITER ダイバータ外側垂直ターゲットに使用するタングステンブロックの数量。

ト情報を交えた話があり、質疑応答では予定時間を越えた多くの質問に対して、一つ一つ丁寧な回答をいただいた。参加者からのアンケートでは、現役 ITER 職員から直接説明を聞いたことや、質疑を通して ITER で働くということに対する具体的なイメージが持てた、ホームページには掲載されていない情報が手に入ったなど好評であった。ITER 職員応募者に対して日本国内機関がどのようなサポートをしているのか、また面接サポートについて参加者の興味が高かった。

2020年度は全5回のオンラインセミナーを開催し、合計 319 名の参加があった。セミナー参加者から ITER 職員に 44 名が応募し、そのうち 2 名が合格した。2019 年度までは説明会を対面式で実施していたが、新型コロナの影響もあり 2020 年度はすべてオンラインで開催を実施した。対面式のセミナーでは開催地が遠方で参加できないとの声があったが、オンライン開催にすることでどこからでも参加することができるようになり、国内の遠方地に限らず海外からも 32 名の参加があった。また、質疑では対面式で会場に集まった時に比べ、オンラインの方が質問や意見が多く活発だった。更に、対面式での開催に比べて参加者数を多く設定できたため、より多くの人に参加してもらうことができた。

オンライン開催によるメリットを実感する1年となり今後も積極的にオンラインセミナーを取り入れた活動を検討していく。ぜひ ITER プロジェクト、ITER 職員に興味がある人は積極的に参加をしてもらいたい。

5. ITER ダイバータ外側垂直ターゲット用タングステンの量産化に向けた性能評価

ITER ダイバータ外側垂直ターゲットの製作では、約 20 万個のタングステン (W) ブロックを量産する必要があるが、このような規模での製作実績は無く、W ブロックに要求される重要な特性の一つである繰返し高熱負荷への耐久性能の安定性が未知であるという課題があった。そこで、これまでに実施した研究開発において調達した W モノブロック (量産時の数量に換算すると約 4 万個分に相当) の材料特性と、繰返し高熱負荷への耐久性能を調査し、量産時の W の品質安定性を検討した。調査の結果、不純物濃度やビッカース硬さに一定のばらつきが生じるが、繰返し高熱負荷に対する耐久性能には影響がないことを明らかにし、安定した品質の W モノブロック調達実現の目途を得た(図 7)。今後も本研究を継続し、W の材料特性と高熱負荷への耐久性能の関連性を明らかにし、ダイバータ用 W の材料仕様の合理化を進める計画である。オンラインで開催されたプラズマ・核融合学会第 37 回年会において、量研・ITER プロジェクト部プラズマ対向機器開発グループの福田誠研究員らが上記の量産化に向けた性能評価に関する成果を発表し、若手学会発表賞を受賞した。

(量子科学技術研究開発機構 核融合エネルギー部門)