

1. 第27回 ITER 理事会が開催

2020年11月18日、19日に開催されたITER理事会の第27回会合は、現在もCOVID-19の感染拡大が継続していることから、前回と同様に遠隔ビデオ会議形式で開催された。理事会は、ITER計画の進捗に対するCOVID-19の影響を含む、最新の進捗状況と実績指標を評価した。ITER計画は、参加極による世界初の機器の調達と、サイトでの設置及び組立作業の両方に関して、堅調な実績を継続することに成功している。2025年に初プラズマを達成するというスケジュールへの影響は存在するものの、対策を検討した上で継続してCOVID-19の影響評価が行われる。

ITER理事会では、以下についての報告・議論が行われた。

- 1) 理事会は、ITER機構と国内機関がCOVID-19の状況下で機知に富む対応と事業継続のための計画を堅実に実施したことを賞賛した。衛生対策を厳格に遵守しつつ、重要な活動の優先順位付けとITER機構での「新しい日常」が開始されたことにより、生産性は確保されている。これにより、プロジェクトに関わるスタッフ等の関係者の健康と安全へのリスクと影響を最小限に抑えながら、統合されたプロジェクトスケジュールは総合的に維持されている。
- 2) 理事会は、世界初の機器が順調にサイトに到着しており、組立フェーズの公式な開始を含め、前回の理事会から継続するプロジェクトの成果を感謝しつつ留意した。
 - ・日本及び欧州からこれまでに4機の超伝導トロイダル磁場(TF)コイルが到着した。
 - ・欧州が中国と共同で調達した超伝導トロイダル磁場コイル(PF)6番は、ITERサイトにおいて冷却テストを実施中であり、ITERサイトにおいて製作中のPF5番は間もなく完成予定である。
 - ・韓国で製作され、ロシアがポートスタブを供給した最初の真空容器セクターは8月にITERサイトに到着し、最初のセクターの一部組立について準備作業を開始できる状況である。
 - ・インドが供給したクライオスタットの下部シリンダーが設置され、クライオスタットベースに溶接中である。
 - ・熱遮蔽とTFコイル及び真空容器セクターの組立に用いられる反転作業ツールの品質評価試験が実施中である。
 - ・パルス出力電力網、磁石電力変換システム、冷凍機プラント、冷却水システム及びトカマク複合施設のクライオラインとブスバーの設置に関して、ITERサイトで大きな進捗が見られる。
- 3) 理事会は、ベースライン2016を維持することを決定した。理事会は、2021年6月の次回理事会において、対策を考慮したCOVID-19感染拡大の影響とその他の潜在的な遅延要因について、更なる評価を行う。
- 4) 理事会は、2020年7月28日の組立開始式典において、

全てのITER参加極メンバーから表明された閣僚及び/又は首脳レベルによる素晴らしい支持の声明を歓迎した。理事会は、COVID-19の感染拡大の影響にもかかわらず、建設戦略をスケジュールどおり成功させるために、ITER参加極メンバーが物納貢献及び現金貢献のコミットメントを果たすために実施している継続的な努力に留意した。

2. TFコイル4号機の完成

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。TFコイルの製作は110トンの巻線部(WP)をステンレス鋼製のコイル容器内に収め、隙間を樹脂で含浸することでWPとコイル容器を一体化し、最終検査を終えて完了となる。2020年3月号では初号機の、7月号では2号機の完成について報告しており、TFコイル製作は既に量産に入っている。2020年12月頭の時点で、4号機についても一体化作業を終えて最終検査を合格し、製作作業を完了した。

TFコイル4号機の製作では、これまでの号機に無かったログスキーコイルの組み込み作業が行われた。ログスキーコイルは、計測対象を環状に囲むことで囲みの中を流れる電流値を計測する装置である。ITERでは、真空容器内のプラズマ電流を計測する目的で、合計3個のログスキーコイルがトロイダル方向に等間隔に配置される設計になっている。そのため、合計18機のTFコイルの内、3個のTFコイルと1個のスペアコイルに対し、コイルの外周側にログスキーコイルのケーブルを組み込むが、その初めての号機がこの4号機であった。一体化含浸前にログスキーコイルの接続作業を行い、含浸後には接続部が樹脂で固定されていること、また、電気性能についても仕様どおりであることを確認した。その後、初号機同様、最終機械加工及び最終検査を終えて、2020年12月に4号機が完成した(図1)。

TFコイル4号機は、1月に神戸港からITER機構へ向けて出荷され、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機構へ到着する予定である。



図1 完成後のTFコイル4号機。



図2 海上輸送のルート。

3. EU 向け TF コイル構造物第 9 号機の出荷

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) コイル及び欧州向けの 10 機の TF コイル用構造物 (TFCS) の製作を進めている。TFCS は ITER のトカマク装置中心側のインボード側の容器 (AU) 及びその蓋 (AP), 装置外側のアウトボード側の容器 (BU) 及びその蓋 (BP) の 4 個の部品で構成される。

今回、製作を完了した TFCS は、欧州国内機関向け 7 機目である。BU 及び BP は東芝エネルギーシステムズ (株), AU 及び AP は三菱重工業 (株) において製作された。その後、東芝エネルギーシステムズで最終検査を行い、巻線部との一体化作業を実施するイタリアの工場に向けて、2020 年 9 月に横浜港を後にした。アフリカ大陸の最南端である喜望峰を経由するルート (図 2) を経て、2020 年 12 月にイタリアの工場に到着した。

これまで欧州向け TFCS の出荷は全 10 機の内 7 機までを完了しており、残り 3 機の出荷は 2021 年内に実施する予定である。それを以て EU 向け TFCS の全ての調達完了する計画である。

4. ITER 機構の新型コロナウイルス対策

12 月上旬において、フランスは二回目のロックダウン中であるが、今回は職場への外出は認められている。ITER 機構では、新型コロナウイルス (以下コロナと呼ぶ) 対策及び新しい日常 (New Normal) の指針を定め、ITER 建設を継続している。

ITER 機構のコロナ対策として、以下の事が求められ、実施されている。1 m 以上のソーシャルディスタンス、手洗い、マスクを着用する (オフィスに一人である場合や食事時を除く)。通勤では、車 (一人の場合を除く) やバスの中でマスクを着用する。ITER 機構内の手で触る部分は毎日清掃され、床も週に一度は清掃される。廊下や階段は、床等に示される矢印に従い一方通行を順守する (図 3)。エレベータは 2 人までに制限する。引く扉には、手を使わずに足で引くための金具が取り付けられた。会議は遠隔を基本とする。食堂に入る前に手を洗い、席の



図3 一方通行ドアの上に貼られたコロナ対策ポスター。

印に従って正面や隣には座らない。訪問者について、グループ人数は 15 人以下に制限され、マスク着用と、コロナの症状や感染者との接触が無いことが求められる。

症状が出た場合の行動について、現地にいる場合はその場所に留まって ITER 機構の非常番号に連絡し、自宅にいる場合は家に留まって掛かりつけ医に連絡する (緊急の場合は救急車を呼ぶ)。また、上司及び ITER COVID Points of Contact に連絡し、その指示に従う。検査陽性者、感染者又はその疑いのある者との接触者も、彼らに連絡し、指示を受ける。逆に、彼らから濃厚接触者として連絡および指示されることもある。

ITER 機構のサイトにおけるコロナ感染の疑いのある者及び感染者の発生に関する情報は、毎週メール配信される ITER Bulletin で周知される。また、ITER 機構のイントラの Covid19 のサイトにコロナ関連の情報が示される。

新しい日常として、テレワークが導入されている。以前から、職員等にはノート PC が支給され、電話もこの PC を使うシステムであるため、テレワークへ移行しやすい環境であった。出勤日は上司が定め、週二日は現地に出勤することになっている。また、電子サインの活用も進められている。

5. ITER ポスドクフェロー体験記「なんで、私が南仏に!？」

(筑波大学プラズマ研究センター 東郷 訓)

文化の違いの点でも英語力の点でも海外に苦手意識があった私が、二年間もフランスに滞在し、ITER 機構で研究したなんて、帰国した今でも嘘のようである。2018 年 12 月からモナコ公国/ITER ポスドクフェロー (以下モナコポストク) として勤務した二年間の体験を綴る。



図3 モナコポストドクとインターン生での potluck パーティ (2019年8月, 右から2番目が筆者)。

モナコポストドクの枠組みでは、二年毎に ITER 参加 7 極とモナコ公国から 5 名の若手研究者が選出される。応募に当たって必要となる CV の作成は初めてであったが、日本国内機関窓口 (量研) による「CV の書き方」のページや添削が大いに参考になった。英語での面接も初めてだったので、面接当日までに ITER インターン経験者や過去のモナコポストドクから助言をもらい、さらに量研の面接トレーニングを二度受けた。面接官は Luce 科学運転部門長を筆頭に 5 名であった。面接は事前に通知された流れや予想された質問の内容と大きく異なっていたために混乱し、拙い受け答えになってしまったが、合格することができた。

着任直前まで、とにかく英語力に不安があったため英会話教室に通い詰めた。フランスでの住居は量研の現地支援グループのサポートを受け、着任前に Aix-en-Provence (以下エクス) のアパートを契約できた。しかしエクスに着いて早々、アパートの鍵の引き渡しで出鼻を挫かれた。管理人がフランス語しか話せなかったのだ。Google 翻訳を介してのコミュニケーションで、時間はかかったが何とか事なきを得た。

ITER 機構での研究テーマはジャイロ運動論コード XGC を用いた周辺プラズマの乱流解析であった。着任してすぐに XGC の開発元の PPPL に出張し、初期のトレーニングを受けた。これまで実空間一次元の流体コードしか経験してこなかったところに急に実空間・速度空間合わせて五次元のジャイロ運動論コードを使うことになり、しかも当然ながら英語での議論なので、とにかく付いていくのが大変だった (現在進行形で大変である)。何とか基本的なコードの使い方を身に着けたところで研究テーマの詳細を改めて打合せ、ペレット入射時の径方向輸送に着目することになった。科学部門の細川哲成さんからのサポートや PPPL スタッフとの「密な」打合せ (オンライン) のお陰でペレットモデリングの開発・実装を進め、国際会議での発表や、論文の投稿もできた。

ITER 機構の科学部門は皆で一緒に食堂でお昼を食べ

たり、クリスマスや誰かの最終勤務日には近くのレストランに行ったりと、非常に仲の良いグループだと感じた。またモナコポストドクの同期やインターン生も全員エクスに住んでおり、しばしば楽しい時間を共有した (図 4)。仕事でもプライベートでも色んな訛り方の英語の聞き取りにかなり手を焼いたが、皆嫌な顔一つせず丁寧に話してくれ、とてもありがたかった。日本人職員の皆さんも非常に親切に接して下さり、近所のレストランや観光にもよく誘って下さったので、孤独感を感じることもなかった。

日常生活で苦労したのが散髪だ。半年程度のインターンでは全く切らずに帰国する人もいたのだが、二年間となるとそうはいかない。まず近所の 10 ユーロで切ってくれる理髪店に行ったのだが、仕事が雑で首を痛めたのでそれきりにし、以降少し高くなるが丁寧に切ってくれるサロンに行った (それでも予約確認の電話がフランス語なので苦労したが)。

二年目以降は COVID-19 の影響でロックダウンに二度巻き込まれるという、ある種貴重な経験ができた (特に誰も歩いていないエクスのミラボー通りを見ることはなかっただろう)。2020 年 5 月にはモナコポストドク同期と共に、Bigot 機構長と Luce 部門長が同席する中、モナコ公 Albert II とオンライン面談し、個々の研究の報告するという大変貴重な経験をさせていただいたが、これもロックダウンの良い側面だったのかもしれない。

単身で海外に住むのは必ずしも安全ではないが、二年間無事に楽しく過ごせたのはフランスと日本の大勢の人達に支えられたお陰だ。この記事を執筆する機会をいただけたことも含め、この場を借りて深く感謝申し上げたい。

6. ITER 職員募集オンラインセミナー欧米編を開催

量研では、日本における ITER 職員公募の窓口として応募支援を行うとともに、ITER 職員公募情報を広く発

信し、ITER職員公募会員として登録していただいている。今年9月以降、海外在住邦人の会員増加を目的として、主に海外で活躍しているエンジニアや国際機関に勤務している邦人に向けて、Google 広告、YouTube 広告により、ITER機構職員公募情報を発信した。その結果、9月以降、欧州から91名、米国から52名など合計189名の海外に在住する邦人に新たに職員公募会員になっていただいた。同時期の国内の新規会員を含めて287名の会員増となり、12月14日現在、合計952名の会員数になった。

主に新たに会員になっていただいた海外在住のITER機構職員を目指す邦人に向けて、11月11日と27日の2回に分けて、オンラインセミナー「ITER機構で働こう～日本人職員の声～」を開催した。前者は主として欧州に在住する邦人に向けてフランスの休日の午前、後者は米国に在住する邦人に向けて、米国の休日の夜に設定した。セミナーの内容は、ITER機構の大前敬祥首席戦略官に、ITERプロジェクトの概要と現状、人事、ITER機構でのやりがいなどについて説明していただき、量研からは応募支援について説明を行った。2回のセミナーを通して、海外から31名、国内から17名の参加者との活発な質疑応答が行われ、ITER機構への関心の高さが伺えた。

これまでは建設に関するエンジニアが多く求められていたが、今後はITERの運転に向けて、徐々にプラズマ・核融合の研究者が求められる時期に移行する。オンライ

ンセミナーなどを通して、ITERプロジェクトの理解を深めていただけるよう活動を続ける予定である。

7. ITER 機構インターンシップの公募開始

2021年ITER機構インターンシップの公募が開始された。12月14日現在116件のテーマが示されており、2月末に公募は一旦締め切られる予定。プラズマ・核融合関連のテーマはもちろん、広く理工系や事務系のポストも用意して、国際的な科学技術と多様な文化、環境の中で実践的な仕事を通し、大学での教育経験で得た知識を活用した共同研究の機会を提供している。期間にも依るが5ヶ月以上の場合には、修士の学生には月1,300ユーロ、学部の学生には月650ユーロの手当が支給される。2018年には5名、2019年には6名、2020年にはコロナの影響があったものの、2名の日本の大学生・大学院生がインターンとして活躍した。量研では、インターンシップの応募支援を行っているので、下記（ITER機構インターンシップ・プログラムのご案内ページ）を参照し、お問合せいただきたい。なお、この案内ページには、ITERだよりに執筆していただいた、5名のインターンシップ体験談のリンクを記載してあるので、ご覧いただきたい。
https://www.fusion.qst.go.jp/ITER/staff/internship_program.html

（量子科学技術研究開発機構 核融合エネルギー部門）

1. ITER/BA成果報告会が開催

核融合エネルギーフォーラムが主催し、量子科学技術研究開発機構（以下、量研）及び核融合科学研究所が共催する ITER/BA 成果報告会 2020 が、東京都内幸町のイイノホールにおいて令和 2 年 12 月 22 日に開催された。ここでは、「新たな未来を創造する核融合エネルギー」と題し、ITER 計画と BA 活動に関して、来賓挨拶、基調報告、特別講演などを通して、核融合エネルギーの実現に向けた最新の成果と進捗が紹介された。

中島尚正核融合エネルギーフォーラム議長による開会の辞に続き、高橋ひなこ文部科学副大臣、森英介自民党核融合エネルギー推進議員連盟会長、市川秀夫 日本経済団体連合会資源・エネルギー対策委員会委員長、藤田研一経済同友会 環境・資源エネルギー委員会副委員長により、来賓挨拶が述べられた。

基調報告では、ベルナルド・ビゴ ITER 機構長のビデオ講演及びフランスからのライブメッセージ並びに多田栄介 ITER 機構副機構長の会場での講演による「ITER の建設状況」、岩瀬秀樹文部科学省研究開発局研究開発戦略官による「日本の核融合研究開発政策」、花田磨砂也量研那珂核融合研究所副所長の講演及び那珂核融合研究所の JT-60 中央制御室からのライブ中継を交えた「ITER の機器製作活動及び JT-60SA の統合コミッショニングの進展」、石田真一量研六ヶ所核融合研究所副所

長による講演及び量研と協力企業の研究開発担当者からのビデオメッセージを織り込んだ「核融合炉研究最前線と産業応用ポテンシャル」について報告が行われた。

特別講演では、小山堅日本エネルギー経済研究所専務理事による「COVID-19 パンデミックと国際エネルギー情勢」と題するホットな話題が提供された。

会場収容率の制限をはじめ新型コロナウイルス感染症対策を行いつつ開催され、国会議員、中央府省、関係自治体、駐日外国公館、大学・研究機関、一般から 190 名の来場者が得られたとともに、初めての試みである YouTube でのライブ配信（日本語及び英語の 2 チャンネルで配信）では、推定約 570 人に視聴され、核融合エネルギー開発の進展について幅広い周知、理解増進が行われた（図 1）。

なお、令和 3 年 6 月までの予定で、YouTube にて動画が公開されている。URL は、以下のとおり。

日本語チャンネル：<https://youtu.be/zsAqbiD--iE>

英語チャンネル：<https://youtu.be/dawU6lpCfRE>

2. 新温度計測手法（2重2波長法）による赤外サーモグラフィの精度向上

量研では、日本が調達を担当する ITER ダイバータ赤外サーモグラフィの研究開発を行っている。ITER ダイバータ赤外サーモグラフィでは 200°C - 3600°C にわたる超広範囲の温度を 10% の精度で計測することが要求されており、2 波長法により 2 つの波長の輝度比を取ることで温度計測を行う。

しかし、従来の 2 波長法では、全計測温度範囲で十分な信号量を獲得できるように波長選定を行った場合、計測要求である 10% の精度で温度計測を行うために輝度比に許容される計測誤差が高温計測時に 4% 程度しかなく、計測要求を実現するのが困難であった。本来このような広温度範囲で十分な計測許容誤差を確保するためには低温・高温レンジにそれぞれ特化した 2 つ以上のシステムが必要になるが、その場合計測波長の追加に伴い検出器台数が増加し、調達コストが増大する問題がある。

今回は、従来法の短波長側の干渉フィルタに中心波長を 2 つ有するデュアルバンドフィルタを使用することで、検出器台数を増やすことなく輝度比の許容誤差を拡張する新手法（2 重 2 波長法）の開発を行った。デュアルバンドの短波長帯・長波長帯を通過してくる支配的な信号成分は低温・高温レンジで自動的に切り替わるため、疑似的にレンジごとに異なる 2 波長の組み合わせ（3 波長）での計測が可能となる。フィルタを最適化することにより従来法で 4% 程度しか許容されなかった 2 波長法の輝度比の誤差を全計測温度領域にわたり 10% 以上まで拡張することに成功しており、これまで困難だった ITER ダイバータ赤外サーモグラフィの温度計測要求を満たす見込みを得た。

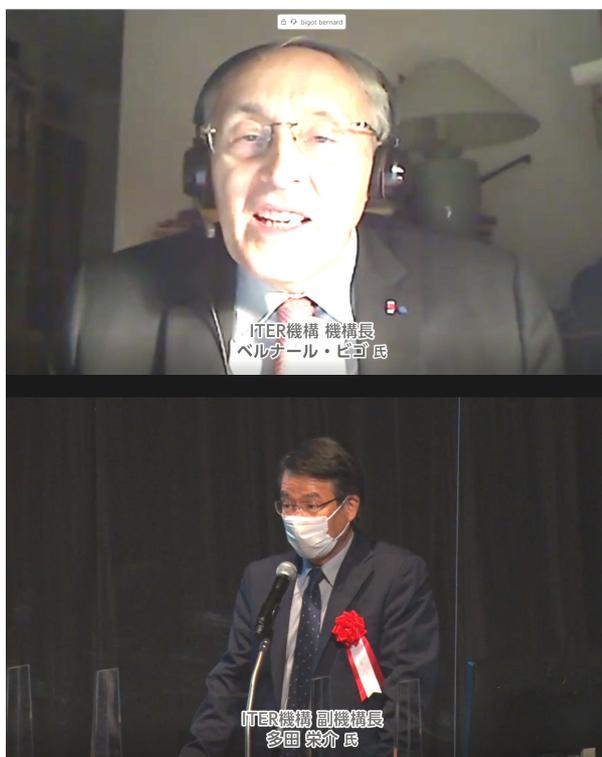


図 1 写真上：フランスからライブメッセージを届けるベルナルド・ビゴ ITER 機構長、写真下：会場で講演する多田栄介 ITER 機構副機構長（いずれも YouTube 公開動画より）。

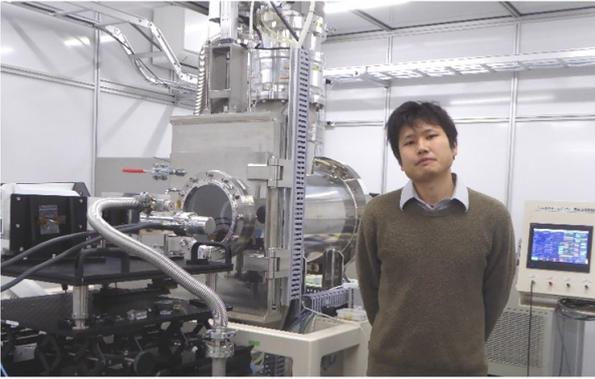


図2 牛木研究員（ITER ダイバータ赤外サーモグラフィ開発試験室にて）。

本手法は、大幅な計測精度の向上が望めるにもかかわらず、実装が容易である点が優れており、今後核融合分野のみならず、火力発電所や溶鉱炉の監視等他分野への波及が期待できる。以上の「新温度計測手法（2重2波長法）の開発」に関する成果で、第37回プラズマ核融合学会年会において牛木知彦研究員（図2）が若手学会発表賞を受賞した。今後も日本独自の最先端技術が詰まったダイバータ赤外サーモグラフィの実現に向け、継続して開発を進めていく。

3. コロナ禍におけるNBTF統合試験…遠隔指示による試験参加

イタリアで建設中のITER中性粒子入射装置の実規模試験施設NBTFにおいて、日本は図3に示す直流100万ボルト超高電圧電源の調達を担当している。取扱いには、高電圧・電源等の専門知識が必要であるため、量研から2名、さらに製作メーカー専門家を現地に派遣し、工事会社への技術指導・管理を徹底して、機器の据付作業・試験を進めてきた。

しかし、2020年3月、欧州調達の1次電源インバータから受電して電圧出力試験を開始する段階で、コロナ禍が急速に広がり、人員派遣が難しくなりNBTFサイトも5月まで閉鎖となった。

人員派遣の先行きが不透明な中、日本による大幅な工程遅延を出さないためには「遠隔による技術指導」以外の選択肢は無かったが、これまで現地での直接的できめ細かい技術指導で進んできた実績を考えると、遠隔指示が機能しないリスクがあった。事実、日本専門家の現地



図3 日本の遠隔指示ルームからイタリアの作業を監督。

技術指導を高く評価していたNBTFホストに遠隔指示を提案した際、技術的にありえないという反応が現地のNBTF関係者からあった。

そこで、ITER機構、NBTFホスト、さらに現地工事会社に理解・協力を得る遠隔指示技術を確立するため、量研の試験装置の作業・試験を利用して遠隔指示シミュレーションを3回実施した。現地での技術指導を想定し、全て遠隔指示者の指示に従って作業したところ、当初、予想以上に機能せず予定の3倍以上の時間を要した。しかし、回ごとに改善を図り、最終的に下記に示す遠隔指示の3ポイントを見出し、円滑、かつ安定な遠隔指示を確立した。

- 1) 1指示1アクション1確認、
- 2) 誰でもわかる作業要領書の超具体化（作業開始前のKY活動から全活動をきめ細かく規定）、
- 3) 作業場全体と手元を映す2つのカメラ（作業場全体の動きと作業者の手元まで同時に確認）

これらの結果を現地のNBTF関係者に報告した結果、遠隔指示を前向きに受入れてくれ、2020年秋以降、試験準備を再開した。現在、工事会社はモバイル機器を持ち歩き、全作業動線の情報を送ってくれるため、まるでNBTFサイトにいるように天候や現地の人の様子などを見ることが出来る状態である。現在、段階的に試験を進め、まもなく定格1MV出力試験に進むところである。

4. ITER企業説明会が開催

ITER企業説明会は、例年東京で開催していたが、本年は新型コロナウイルス感染症対策のためオンラインで開催した。文部科学省、ITER機構、量研、那珂核融合研究所の各担当者が、産業界の皆様に向けて、核融合研究開発の動向やITER機器の調達等について各拠点から説明した（図4）。

文部科学省研究開発局の岩淵秀樹研究開発戦略官（核融合・原子力国際協力担当）からは、核融合エネルギーの実現に向けた各国の動向、カーボンニュートラルに向けた核融合の位置付け、今後の原型炉研究開発などについて説明があった。核融合エネルギーは近年世界における見方が変化しつつあり、今後新しいビジネスチャンス



図4 第27回ITER企業説明会オンライン開催の様子。



図5 文部科学省に掲示されたポスター。

が広がっていくことが予想されるため、産業界の皆様にご関心をお持ちいただき、積極的に核融合研究開発に参画していただきたいとの説明だった。

量研 杉本ITER日本国内機関長は、日本が分担する調達機器の進捗・主な成果、ITER機構の調達活動に関する量研の支援内容などを説明した。さらに、日本の調達機器である中性粒子入射加熱装置 (NB)、ダイバータ、計測機器の製作を担当する部署よりグループリーダーが各々の調達機器の概要や今後の調達スケジュールを説明した。

ITER機構の大前首席戦略官からは、ITER建設の近況、コロナ禍におけるITER機構の調達活動、ITER機構が実施する調達活動への参画に関するアドバイスなどについて説明があった。ITER機構が実施する調達活動については、コロナ禍においてデジタル化推進等が新しいルールとして取り入れられ、現地を訪問できない状況下でも遠隔による契約が可能となる体制を整備していることなどが紹介され、日本の産業界からの参画への期待が示された。

今回の企業説明会はオンラインでの開催となったことにより、全国各地の企業・機関から100名以上の方が参加され、例年以上に充実した説明会となった。ITERの建設や日本の調達機器の製作に対する産業界の協力が今まで以上に得られるよう、量研は今後もITER参画推進活動を続けていく。

なお、ITER企業説明会の詳細については、ITER Japan ウェブサイト「ITER企業説明会の開催について」に記載している。(http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/jada/page2_7.html)

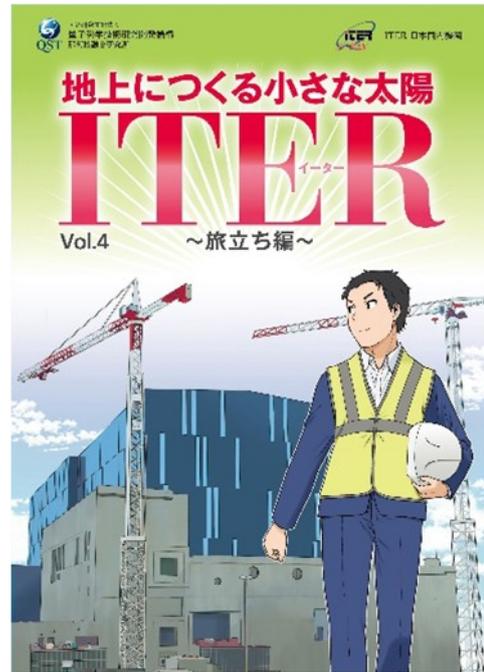


図6 ITER計画紹介マンガ Vol.4.

5. 2020年度 広報印刷物の制作

量研はITER日本国内機関として、科学や工学に関する専門知識の有無や、対象となる年代を考慮した上で、幅広い層に核融合やITER計画について知って頂くために、マンガ、ポスターなど様々な広報印刷物を制作している。

ITER建設サイトの最新の情報を掲載したポスター等も好評を得ており、昨年12月には文部科学省の高層階用エレベーター3台に「ITER絶賛組立中！ポスター」が掲示され、1月には文部科学省の情報ひろばに「ITER鳥瞰図(横長)ポスター」が掲示された(図5)。

(ポスターダウンロードページ：

<https://www.fusion.qst.go.jp/ITER/posterdownload/iterposter.html>)

1月22日にはITER計画紹介マンガ「地上につくる小さな太陽「ITER(イーター)」」最新刊となる、Vol.4～旅立ち編～(日本語版)を発行した(図6)。

今回は、Vol.3で登場した東出が主人公となり、自身が技術職員として製作に携わった超伝導コイルの出荷を見送った場面から物語が始まる。東出は未来のエネルギーを実現させるという夢を叶えるため、決意を新たにITER機構職員公募に挑戦するストーリーとなっている。

(ITER計画紹介マンガ：https://www.fusion.qst.go.jp/ITER/comic/page1_1.html)

(量子科学技術研究開発機構 核融合エネルギー部門)

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 ヶ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、水抜き用のドレインを設置したり、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。

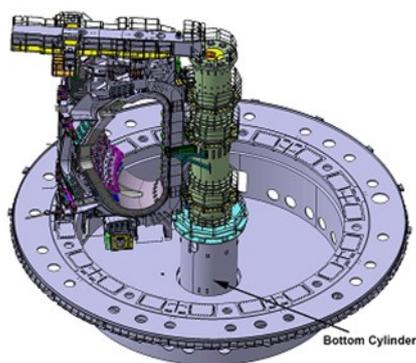


図4 トカマクピット内セクター配置図。



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物の引張試験、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

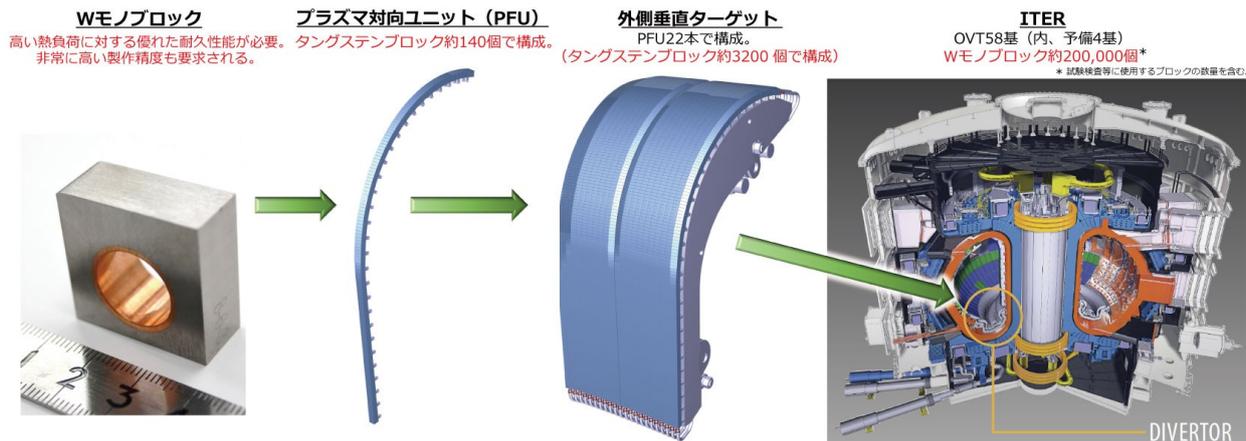


図7 ITER ダイバータ外側垂直ターゲットに使用するタングステンブロックの数量。

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していただいた。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、新型コロナウイルスの影響もあり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)

1. 第27回 ITER 科学技術諮問委員会 (STAC-27) が開催

第27回 ITER 科学技術諮問委員会 (STAC-27) が2021年5月4～6日の3日間, HWANG Yong-Seok 議長 (韓・ソウル大学) のもと ITER 参加7極から34名の委員及び専門家を集めて開催された。前回同様, 今回も COVID-19 の影響を考慮し, 遠隔ビデオ会議形式で行われた。日本からは小野靖委員 (東大), 鎌田裕委員 (量子科学技術研究開発機構 (以下, 量研)), 上田良夫専門家 (阪大), 津守克嘉専門家 (核融合研), 武田信和専門家 (量研) が参加した。

ITER 理事会から STAC に求められた今回の任務 (チャージ) は,

- (1) イオンサイクロトロン加熱 (ICH) と中性粒子ビーム入射 (NBI) の設計における進展
- (2) 過渡的負荷に対するプラズマ対向機器 (PFC) の挙動に関する評価の進展
- (3) 磁場対称性とプラズマ対向機器位置調整精度を達成するための組立戦略

の3つの項目に対して, ITER 機構 (IO) の報告を聴取して ITER 理事会への勧告を取りまとめることである。STAC 委員と専門家はこれらのチャージに対して, 4つのサブグループに分かれて IO の報告内容を検討した。その結果, ICH と NBI については, その設計における実質的な進展に留意した上で, 特に ICH に関しては, 伝送系及び調整系の適切な計画の欠如が高いスケジュールリスクを引き起こすことに留意し, IO と米国国内機関がこの問題に優先的に取り組むことを提起した。また, PFC の挙動に関しては, 過渡的負荷が PFC の寿命に与えるインパクトを予測する先進的なシミュレーションツールを開発・最適化し, 早期の周辺局在モード (ELM) 及びディスラプション緩和の必要性を確認した IO の努力のレベルと質を称賛すると共に, ELM 制御コイルの全ての電源の調達と設置を前倒しにする提案を承認した。組立戦略に関しては, スタートアップ中にプラズマを制限する内側壁, ダイバータバッフル領域及び垂直移動現象 (VDE) 時にプラズマを制限する真空容器の上部領域の長波長位置調整に関する特定の要求を設けることを勧告した。

2. トロイダル磁場コイル2機が完成

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。そのうちの5機は, 三菱重工業 (株) と三菱電機 (株) の協体制で進めるライン1で製作しており, 5月の報告のとおり, 既に3機が ITER 機構に到着済みである。今般, 東芝エネルギーシステムズ (株) が製作を進めるライン2において, 担当する4機のうちの初号機が完成した (図1)。

TF コイルの製作は110トンの巻線部 (WP) をステンレス鋼製のコイル容器内に収め, 隙間を樹脂で含浸する



図1 東芝エネルギーシステムズ(株)が製作したTFコイル初号機 (同社提供)。

ことで WP とコイル容器を一体化し, 最終検査を終えて完了となる。ライン2では, WP・コイル容器の製作及びこれらの一体化作業の全工程を東芝エネルギーシステムズ (株) 1社によって完遂されている。1社のみで製作できる強みを生かして, 一貫した品質管理体制を築くことにより, 長さ約16.5m, 幅約9m という巨大な TF コイルの製作において, ミリ単位の寸法管理を達成し, 5月に東芝エネルギーシステムズ (株) にとって初の TF コイルが完成した。

また, 三菱重工業 (株) と三菱電機 (株) のライン1においても, 4機目の製作が完了した。ライン1で製作する最後の5機目のコイルは予備機のため, ITER に実装する全コイルの製作が完了したこととなる。ライン1は, これまでの3機の製作経験を基に, 品質を担保しながらも効率よく作業を進め, 要求製作精度を達成した。

今回, 三菱重工業 (株) と三菱電機 (株) のライン1及び東芝エネルギーシステムズ (株) のライン2それぞれで TF コイルを完成させ, その中で培った技術は将来の核融合炉建設においても役立つものと考えられる。これら2機のコイルは, 7月にそれぞれの工場から出荷され, 神戸港と横浜港で同じ外航船への移し替えを経てフランスの ITER 機構最寄りの港である FOS 港に向けて輸送される予定である。

3. ITER トロイダル磁場コイル完成式典の開催

東芝エネルギーシステムズ (株) が, TF コイル同社分の初号機を完成させたことを受けて, 6月7日に完成式典が開催され, ITER 機構のバルナール・ビゴ機構長, 多田栄介副機構長, 大前敬祥首席戦略官, 文部科学省の三谷英弘政務官, 松尾泰樹文部科学審議官, 外務省の上園英樹軍縮不拡散・科学部国際科学協力室長, 東芝の畠澤守副社長, 東芝エネルギーシステムズ (株) の小西崇夫社長, 量研の平野俊夫理事長らが参加した。新型コロナウイルスの感染対策には万全を期し, 同社横浜事業所での現地参



図2 トロイダル磁場コイル完成式典（写真：東芝エネルギーシステムズ(株)提供）。

加及び遠隔参加のハイブリッド開催となった（図2）。

来賓のビゴ機構長からは、東芝の多大な努力及び困難な状況で技術的な課題に取り組む能力並びに国内機関の貢献に感謝が示され、三谷政務官からは、ITERプロジェクトの成功、核融合エネルギーの早期実現に向け、強力に研究開発を進めていきたいとのご挨拶をいただいた。

プレスリリース

ITER向け世界最大級トロイダル磁場コイル初号機の完成について ～次世代のエネルギーPJへの参画によりカーボンニュートラルの実現へ貢献～

東芝エネルギーシステムズ(株)

https://www.toshiba-energy.com/info/info2021_0608.htm

4. ITER用ジャイロトロン、日本担当分の8機が完成

量研はITERにて計画されている全24機のジャイロトロンシステムのうち、8機のジャイロトロンの製作を担当している。2016年に初めてITERが要求する性能（170 GHz / 1 MW / 300秒以上 / 電力効率50%）を満たすプロトタイプジャイロトロンの開発に成功し、2017年からITER機構に納入する実機ジャイロトロンの製作を開始した。年間約2本のペースにて、順調に製作を進め、本年5月に全8機のジャイロトロンの製作を完了した。同様に調達を行なっているロシアは6機までしか完成しておらず、また、納期が異なるものの欧州に関しては未だ研究開発段階であり、他2極に先駆けて完成させることができた。量研では、平行してジャイロトロンのエージングを進め、4号機までのエージングを完了し、工場試験と称される性能確認試験をおこなった。工場試験の内容は多岐に及び、1 MW / 300秒 / 電力効率50%以上での繰り返し運転成功率90%以上や、5 kHzのon/off変



図3 完成したジャイロトロン全8機のうち、工場試験に合格し輸送準備が整った4機。

調時の800 kW以上の発振、短パルス（1秒及び10秒）での1 MW発振などの性能を実証する必要がある。昨年12月に4号機の工場試験が合格となり、全8機のうち、4機の輸送準備が整った（図3）。ロシアに関しても4機まで工場試験を合格させており、これによりITERのファーストプラズマに使用する日本4機、ロシア4機、計8機の準備が整ったこととなる。うち日本分担分2機のジャイロトロンは今年度中にITER機構に向けて空輸する予定であり、輸送後は、ITER機構と協力して、やはり量研の調達範囲である、ジャイロトロン架台、伝送系と接続するための準光学整合器、冷却水マニホールドなどを据え付け、さらにアノード電源、ボディ電源を欧州の調達範囲である主電源（カソード電源）と組み合わせて、量研が製作した制御システムを用いてジャイロトロンシステム全体の現地試験を行う必要があり、来年度にはこれを実施する予定である。

（量子科学技術研究開発機構 核融合エネルギー部門）

1. 第28回 ITER 理事会が開催

2021年6月16日、17日にITER理事会は遠隔ビデオ会議により第28回会合を開催し、ITER計画の最新の進捗報告と実績指標の評価を行った。プロジェクトは加盟極の最善の努力による機器納入と、作業サイトにおける据付・組立作業により着実な進捗を維持している。他方、いくつかの技術的困難と進行中の新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の感染拡大の影響が緊密に監視されており、初プラズマ達成へのスケジュールに影響を及ぼす可能性のある遅延を防止するためのあらゆる回復策を十分に検討した上で、さらに評価される。

ITER理事会では、以下についての報告・議論が行われた。

- ITER機構と国内機関は高い対処能力を継続して示しており、COVID-19の影響下における継続策を実施している。この「新しい日常」の方策の下で、衛生対策を厳守すると共に感染拡大による健康への影響を最大限抑えつつ、ITER機構は機器の納入と据付を継続して進めている。
- 理事会は、主要機器の納入の継続と装置組立の進捗を含む、2020年11月の前回の理事会以降の重要なプロジェクトの成果を感謝しつつ留意した。
 - ITERの超伝導磁石で最初となる超伝導トロイダル磁場コイル#6がトカマクピットに据付けられた。また、さらに一つの超伝導トロイダル磁場コイルが完成し、その他も着実に進捗している。
 - 7個の超伝導トロイダル磁場(TF)コイルがITERサイトに到着し、8個目が完成して出荷準備ができている。
 - 超伝導中心ソレノイドコイルの最初のモジュールが完成し出荷準備が完了するとともに、2個目が晩夏に出荷される予定。
 - TFコイルとサーマルシールドの部品を組み込みつつ最初の真空容器セクターの組立が組立ホールで開始された。
 - クライオスタットの全ての部品がITERサイトに到着し、クライオスタット蓋の溶接が始まった。
 - その他の主要機器の製作が加盟極の企業で進展中である。
 - 無効電力補償装置、磁石電力変換、冷凍機、冷却水設備、等のプラントシステムで重要な進捗があり、複数のシステムで試運転を開始、または準備中である。
 - 理事会は、ITER機構及び協力するパートナーが、感染拡大による前例のないプレッシャーとITERのいくつかの初物機器製作における困難に直面していることに留意した。理事会は、全ての加盟極に対し、建設戦略をスケジュールどおり成功裏に実行するた

めに、物納及び現金貢献のコミットメントを果たすよう奨励した。理事会は、ITER機構及び協力するパートナーに対し、現在計画されているとおり2035年の核融合運転を達成するためにあらゆる可能な努力を行うよう要請した。

- 理事会メンバーは、ITERの使命の価値に対する強い信念を再確認し、ITERの成功を促進させるため、タイムリーな課題解決のために協働することを決意した。また、理事会は、プロジェクトを成功に導くために効果的な協働にコミットしている「One-ITER」チームの取組を賞賛した。理事会は、プロジェクトの実績を引き続き綿密に注視し、現在の達成ペースを維持するために必要なサポートを継続していく。

2. トロイダル磁場コイル第6号機(TF02)の出荷

三菱重工業は、2021年5月に日本が調達するトロイダル磁場(TF)コイルの第6号機(TF02)の製作を完了した(図1)。世界初の初号機(TF12)を2020年1月に完成させてから、今回の号機で、4つ目の完成となった。第6号機(TF02)については、既製作済の号機の経験や知見を駆使し、スケジュールの遅延なく進めることができた。コロナ禍の中での製作となったため、感染者が発生した場合に備え、従事する技術者/作業員を3チーム(1チーム予備)構成、エリア区分けし、また、作業員には、体調管理チェック/動静確認実施などの感染防護を徹底し主要工程である「溶接作業」、「含浸作業」、「最終機械加工」を進めた。なお、今回の号機も含め、TFコイル製造に精通する技術者/作業員が増えたことで、原型炉に向けての技術を蓄積する工事となった。

既にITERサイトに到着した3基のうち2基は、現地での組立作業が始まった。三菱重工業は、今回のITER向けTFコイル4基の完成に続き、ダイバータや水平ランチャーといった他の主要機器製作にも取り組んでおり、引き続き、ITER計画を積極的に支援し、世界の技術の進歩に貢



図1 TFコイル第6号機(TF02)出荷作業(工場搬出時キャリア上にて)(三菱重工業提供)。

献し、核融合エネルギーの実現に向けて核融合技術開発に挑戦していく所存である。

プレスリリース

核融合実験炉イーターのトロイダル磁場コイル初号機完成披露式典を開催 ～世界最大級の超伝導コイルの完成により、核融合炉建設が大きく前進～

<https://www.mhi.com/jp/news/200130.html>

南フランス・ITER向けTFコイル計4基が完成 2025年の運転開始目指し、核融合実験炉に順次据え付け

<https://www.mhi.com/jp/news/210524.html>

3. トロイダル磁場コイル第3号機 (TF10) の出荷

2021年7月9日、東芝エネルギーシステムズ(株)で製造する4機のITER向けトロイダル磁場(TF)コイルのうち、初号機であるTFコイル第3号機(TF10)の出荷を迎えた。TFコイルは縦17m、横9m、重量320トンのこれまでに例のない大型重量機器であり、超伝導導体を巻線して対地絶縁した巻線部(WP)とWPを格納するコイル容器で構成される。両者を一体化する一体化作業では、1mm未満の誤差でWPをコイル容器内に設置するWP挿入作業、コイル容器を封止する封止溶接作業、WPとコイル容器の隙間を埋める含浸作業、そして形状成形のための機械加工作業を行う。この一体化作業では、三次元計測器を用いた高精度測定を駆使して、各工程において高品質の寸法管理を実現しながら作業を進めた。また、設計チーム及び作業チームが一丸となり、製造現場にて綿密に打ち合わせを行いながら、効率的に製造を進めた。

このような大型重量機器で、かつ高精度の組立精度が求められるTFコイル製造は、東芝エネルギーシステムズ(株)において、これまで経験したことのない作業の連続であったが、強固な品質管理の元、それらを着実に進め、初のTFコイル完成の節目に至ることができた。

出荷作業では、製造した建屋から大型の特殊搬送車両での搬出作業、海上起重機船を使った屋外での荷吊り作業を実施した(図2)。出荷時のTFコイルの総重量は輸



図2 TFコイル第3号機(TF10)海上起重機船での荷吊り作業(東芝エネルギーシステムズ(株)提供)。

送架台も含めると約400トンに及ぶ一方で、TFコイルは超伝導導体、絶縁層及び計測線等の過度の振動等により性能に影響を受ける部位も含むため、その扱いには十分に気を付けなければならない。そのため、事前に綿密な出荷作業計画を練り上げ、作業チーム全員が品質面に細心の注意を払って出荷作業に臨んだ結果、無事にTFコイルの出荷を終えることができた。

これにより、初号機TFコイルの全プロセスを成功裏に完了でき、量産体制に移行した。残り3機のTFコイルの製造についても、着実に進めていく。

プレスリリース

ITER向け世界最大級トロイダル磁場コイル初号機の完成について

https://www.toshiba-energy.com/info/info2021_0608.htm

4. ITERサイトでのITER組立進捗状況

2021年4月中旬にSSAT(Sector Sub-Assembly Tool)上に1機目の真空容器(韓国製)が設置され、その後のサブセクター(40°分の真空容器、サーマルシールド、TFコイル2機)のSSAT上での組立が進行中である。4月末にはインボード側真空容器サーマルシールドの設置が開始され(図3右上)、8月現在アウトボード側真空容器サーマルシールドの設置を実施中である。その間、ポロイダル磁場コイル(PF6)がマグネットして初めてピット内に仮設置された(図3左上)。また、6月には日本から輸送されたTFコイル初号機(TF12)の立て起こし作業が成功裏に実施され、2つあるSSATのうち使用していないSSAT上に仮設置し、初めての立て起こし時のコイル自重変形確認等が行われた(図3下段)。このTFコイルは、縦16.5m、幅9m、重量330トンもの超巨大構造物であり、これをSSAT上ではmm単位で組み立てていく計画である。今後、2機目のTFコイル(TF13日本製)をTF12と同様のSSATにのせ形状確認を実施し、真空容器サーマルシールドの組立完了後に組立実施中のSSATに移動させ、サブセクターを組み上げる計画である。

ピット内作業も進んでおり、PF6が挿入された後、7月にはPCR(Pre-compression Ring)が仮設置されるとともに、TFコイル支持脚の本設置も進められ、サブセクターのピット内移動に向けて急ピッチで作業が進められている。今後もITER組立に向け、各国から続々と巨大構造物のITERサイトへの納入が計画されており、その準備においても活気のある現場となっている。

5. 一般向けITERオンラインセミナーを開催

7月29日(木)に、学生、一般の方を対象にしたITERオンラインセミナー「今、世界でもっとも熱い『ITER』の現状を語る」を開催した。

学生から一般まで合計269名の参加があり、プログラムの第1部「ITERの現状(いま)を語る」では、ITER機構の大前敬祥首席戦略官とITER国内機関長の杉本誠(量研)が、核融合の原理、ITER計画の概要、ITER建設の最新状況、世界の核融合事情などについて、対話形式で説

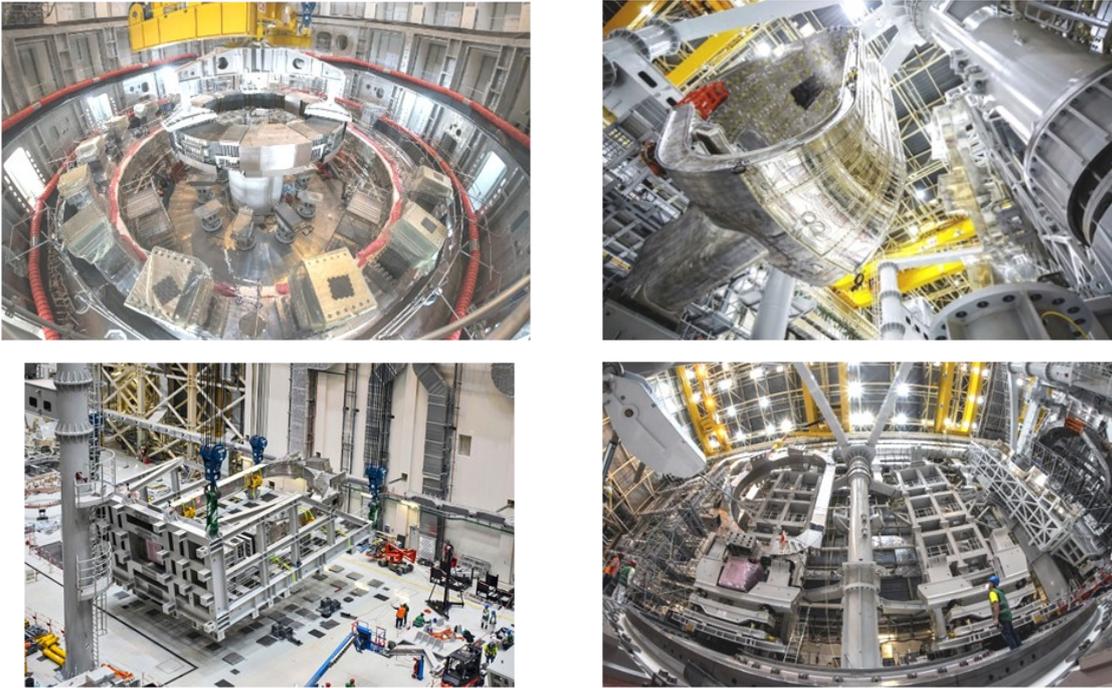


図3 左上 PF5ピット内仮設置, 右上 Inboard VV thermal shieldの設置, 左下 TF12の立て起こし作業, 右下 TF12のSSATへの仮設置.

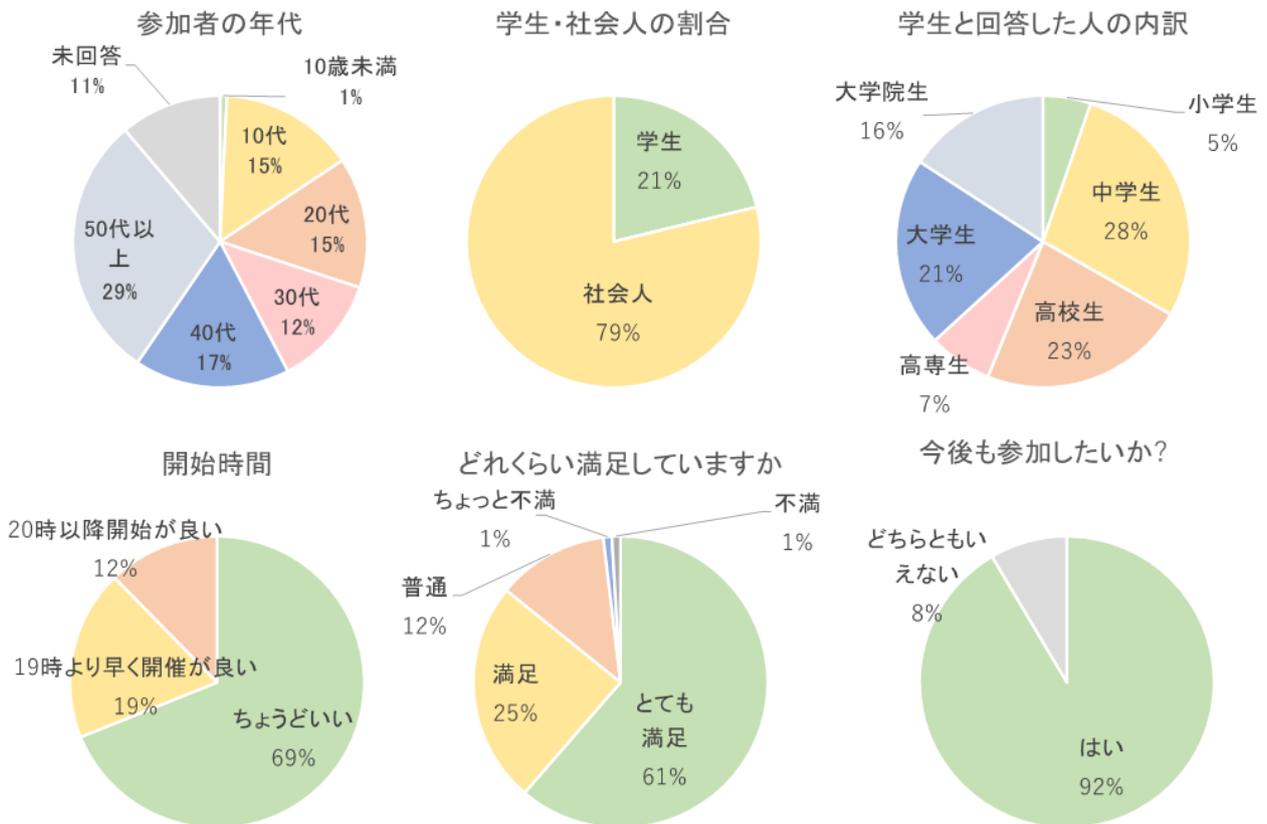


図4 オンラインセミナー後のアンケート結果.

明を行った。第2部のQ&Aコーナーでは、事前に寄せられた質問と当日届いた質問に対して、二人がその場で参加者への回答を行った。

セミナー後のアンケートの結果を図4に示す。広くセミナーへの参加を呼びかけたこともあり、参加者の年代は幅広く、全体の2割学生の参加があった。概ねセミナー

には満足していただき、9割の参加者から今後も参加したいとの回答だった。参加者からは個別にも多くの意見をいただいております。これらの意見を参考に、参加者の年代を分け内容を絞るなどした上、今後のセミナーの企画・実施を進めていきたい。

オンラインセミナーの動画(第1部)と説明資料はウェブサイトで公開しているので、参照していただきたい。
<https://www.fusion.qst.go.jp/ITER/iter/iter/event202107.html>

6. ITER 職員公募ガイドブック「ITER 機構で働こう」の発行

量子科学技術研究開発機構(以下、量研)はITER日本国内機関として、核融合エネルギーやITER計画への理解、日本におけるITER機構への職員募集を促進するための活動を行っている。

この度、その活動の一環として、ITER機構職員公募のガイドブック「ITER機構で働こう」を制作した(図5)。本ガイドブックでは、量研が日本における公募の窓口として行っているITER機構職員公募の登録制度を含めた支援内容、応募から採用の流れ、応募書類作成、採用後の手続き、よくある質問などを説明している。今後も、核融合エネルギーを幅広い分野の方々に知っていただき、理解を深めていただけるよう、また、ITER機構への職員応募への関心や理解が深まるよう広報活動を続けていく。

ITER機構職員ガイドブック「ITER機構で働こう」は



図5 ITER機構職員公募ガイドブック「ITER機構で働こう」。

ITER Japan ホームページでご覧いただけます。

(https://www.fusion.qst.go.jp/ITER/comic/page1_1.html)

(量子科学技術研究開発機構 核融合エネルギー部門)

1. トロイダル磁場コイル 2 機の輸送開始

2021年8月、トロイダル磁場コイル(以下、TFコイル)2機を積載した船が日本を発ち、ITERサイトへの海上輸送を開始した(図1)。TFコイルは、本体が縦17m、横9m、重量320tであり、輸送フレームも含めると約400tの大型重量機器であるため、クレーンを備え付け、船自身で荷役が可能な在来船と呼ばれる貨物船を利用して、輸送を行っている。そのため、工場からTFコイルを出荷し台船に積み込み後、台船を在来船の横に付け、在来船のクレーンを用いてTFコイルを在来船に積込んだ。この積み込み時に使用する吊り具自身も100kgを超える重量物であり、またTFコイルは1mmオーダーの高精度の加工を行った精密機器であるため、荷役の際には緩衝材の設置によるTFコイルの保護や吊り具をTFコイルに当たらないように慎重を期した作業を実施した。在来船への積み込み後、ストッパーの船底への溶接やワイヤーによる固縛を施し、船の揺れによってTFコイルが動かないようにしっかりと固定した。

コロナウイルス感染拡大によって生じた需給逼迫により、極端な海上運賃の高騰や適用できる在来船の選択肢が限られたため、今回初めて2機のTFコイルを1隻の在来船に積み込みでの輸送を実施した。まず横浜港で東芝エネルギーシステムズ製のTFコイル第3号機(TF10)を在来船に積み込み後、三菱重工製のTFコイル第6号機(TF02)を神戸港で積み込み、在来船はこれら2機を載せて日本を出発した。日本を出発後、東南アジア、インド、スエズ運河、地中海を経由し、約19,000kmの海上輸送を経て、フランスのマルセイユ港の西約50kmの位置にあるFos-sur-Mer港に在来船は到着する。一旦Fos-sur-Mer港にTFコイルを荷揚げし、自航式の台船を利用してITERサイトへ向かう陸送ルート入り口であるBerreに輸送した後、大型トレーラーを用いてITERサイトへ輸送を行う。このように、TFコイルの輸送は海上輸送と陸上輸送が混在し、また数度の積替えがあり複数の輸送業者が作業に関係することから、輸送業者と密な連携を取り入念な輸



図1 在来船積み込み後のTFコイル。上段が三菱重工製、下段が東芝エネルギーシステムズ製のTFコイル。

送計画を立て、TFコイルの品質に影響を与えないように輸送作業を管理した。現在輸送中のTFコイル2機は11月にITERサイトへ到着する予定である。

2. ITERサイトでのITER組立進捗状況

いよいよ日本から輸送された2機のTFコイル(TF12及びTF13)がSSAT(Sector Sub-Assembly Tool: 40°セクターを組立室で組み上げる巨大なやぐら)上でサーマルシールドの組みあがった真空容器セクター6と一体化する組立が開始された(図2)。SSAT上でTFCを±1mmの精度で位置調整することに成功し、コイル間支持構造物の組立が始まろうとしている段階である。

一方、ピット内作業は、TFCの支持脚の設置、下部ポロイダルコイルの設置(PF#6)、センターカラムの設置が順調に進み、9月中旬には2機目のポロイダルコイル(PF#5)の仮置きが完了した。これらのコンポーネントは、40°セクターが置かれ始めるとアクセス出来なくなるため、セクター6の搬入前作業として急ピッチで行われている。

また、真空容器セクター7が8月末に韓国から納入され、2機目のSSATへ設置するための準備作業も進行中である(図3)。同時にセクター7用サーマルシールドの組

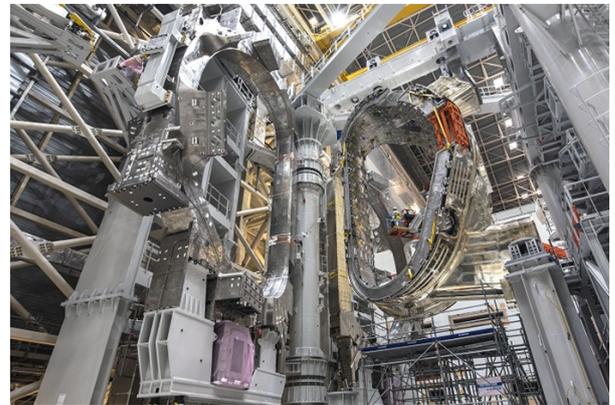


図2 SSAT上でのTFコイル組み込み。



図3 8月に納入された真空容器セクター7。

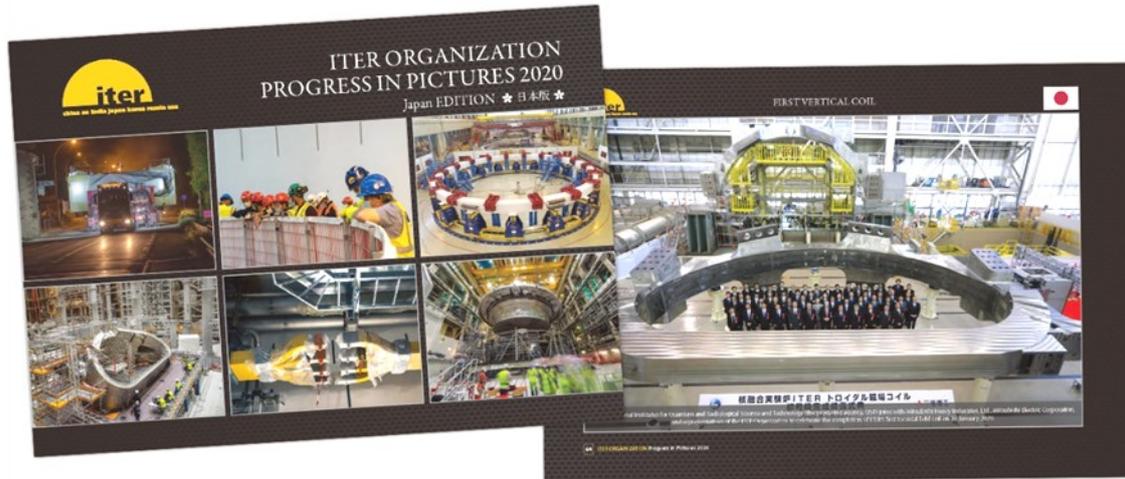


図 4 発行された日本版フォトブック。

立準備作業も進んでいる。一方、セクター 7 用の TFC (TF08, TF09) の組立前準備作業は終了しており、SSAT への組み込み順番を待っている状態である。

このように、各組立作業及び準備作業は順調に進んでいるものの、日々初めての巨大構造物の高精度組立が行われるので、現場では緊張感を持って作業にあたっている。また、9月28日、NHK 総合テレビ番組「サラメシ」にて ITER 機構が登場し、組立建屋内で組立中の大型機器が映し出され、臨場感のある現場風景をご覧いただくことができた。

3. ITER 機構職員の動向と近況

2021 年の 1 月時点における ITER 機構職員は 989 名であり、そのうち日本人職員は 35 名であった。2021 年 9 月末では ITER 機構職員が 1019 名まで増加し、日本人職員は 1 月以降 5 名着任、2 名退職し、38 名に増加した。ITER サイトでは建屋、機器の設置が行われており、今後試運転が始まることから、主に、建設ドメイン、機械ドメイン、科学・運転ドメインの職員が新規で増えている。今後 2 年程度でトカマクや周辺システムの試運転、研究計画の作成などで科学・運転ドメインで更に多くの職員が必要になることから、これらの経験を持つプラズマ・核融合学会の皆様のお誘いをいただきたい。

ITER 機構職員公募は随時 ITER 機構のホームページで公募が公開されている。日本国内機関の応募支援窓口では、ITER 機構職員公募会員登録制度を行っており登録会員には新規公募が出た際にメールでお知らせをしている。現在は 1,000 名を超える会員登録者がおり自身の経験を活かせる公募が出るのを伺っている。ITER 機構職員についての Web ページでは ITER 機構で働く意義や魅力、ITER 機構日本人職員のコメントなどを掲載している。ITER 機構職員に興味がある方、ITER 機構職員公募会員登録に興味がある方はぜひ Web ページをチェックしてもらいたい (ITER プレントリーで検索)。

2021 年 6 月と 9 月に、ITER 職員募集オンラインセミナーを開催し日本国内に限らずアメリカやヨーロッパからも参加があった。ITER 職員募集オンラインセミナーでは概要や近況を始め、ITER プロジェクトで求められる人材など ITER 人事に関する情報発信を行った。また、ITER 機構とライブ中継をして大前敬祥首席戦略官に ITER 機構で働く醍醐味や業務の特徴・特色など、ITER 機構の現役日本人職員としてお話いただいた。参加者アンケートでは、現地からの声には説得力がありモチベーションを刺激させられたなど満足度の高い評価であった。今後も ITER 機構職員に関するオンラインセミナーは実施する予定なので、ITER 職員応募会員登録や SNS の発信に注目いただきたい。

4. 日本版 ITER フォトブック 2020 の発行

量子科学技術研究開発機構 (以下、量研) はこの度、ITER 調達機器や ITER サイトの建屋などを紹介する ITER フォトブックの日本版を発行し、ITER Japan ウェブサイトにて公開している。このフォトブックは、各極が分担する機器の製作状況や ITER サイトの進捗状況、2021 年 7 月に正式に組立を開始した ITER 組立の写真を掲載し、ITER 計画全体の進捗状況や ITER に使われる技術などを多くの方に知っていただくことを目的として制作している。

今回発行した 2020 年版は、全 88 ページで構成され、日本は中性粒子入射加熱装置、高周波加熱装置、ダイバータ、トロイダル磁場 (TF) コイル、TF コイル構造物などの写真を掲載し、各機器の製作が順調に進んでいることを紹介している (図 4)。

日本版フォトブック 2020 (ITER Japan ウェブサイト) (https://www.fusion.qst.go.jp/ITER/images/page/337/ITER_PHOTOBOOK_2020_JA.pdf)

(量子科学技術研究開発機構 量子エネルギー部門)