

## ITERだより(67)

### 1. 第 21 回 ITER 理事会開催：第 21 回 ITER 理事会は着実に目に見えるプロジェクトの進捗を確認した

2017 年 11 月に開催された第 21 回会合において、ITER 理事会は詳細な一連の報告と、組織的、技術的実績の両方をカバーする指標についてレビューした(図 1)。建設・製作スケジュールの厳しい要求事項と、ITER トカマクと補助システムの挑戦的な技術要求にもかかわらず、ITER 計画は高い実績をあげ続けており、2025 年の初プラズマに向けスケジュールどおりに進捗している。また、ITER 理事会は、ITER 協定発効 10 周年を祝った。

ITER 理事会は、以下を結論付けた。

- ・プロジェクトマイルストーン：2016 年 1 月 1 日以降、理事会が承認し、計画された 27 のマイルストーンの全てが達成され、全体事業スケジュールとクリティカルパスを厳格に維持している。特定のマイルストーンにわずかな遅延が生じた場合、初プラズマのスケジュールを回復・維持するための緩和策が実行されており、リスク管理の経験の蓄積による成熟度の向上に信頼が増している。
- ・効率的な進捗評価：理事会は、ITER 機構による建設、製作、組立、据付の物理的な進捗を評価するための強化されたプロジェクト実績評価基準の採用に満足した。この手法を用いることにより、ITER 機構は、初プラズマまでの全機器平均の製作は 61%、ITER 機構の組立と据付作業を含む全建設作業は 49%が完了したと評価した。
- ・運営評価 2017：ITER 理事会は、プロジェクトを成功に導くための組織の整備状況に焦点を当てた、2017 年運営評価人が提出した報告書を留意した。
- ・ITER 参加国による支援：理事会は、第 19 回理事会で結論づけられたように、コストベースラインの承認を確保する事も含めて、各極の様々な挑戦を乗り越えるためになされた継続的努力を認識し、率直な議論を続けた。理事会メンバーは、プロジェクトの価値への強い信念と、ITER の使命と展望を再確認し、ITER 計画



図 1 第 21 回 ITER 理事会出席者 (ITER 機構提供)。

の成功のために時宜を得た解決策を見つけるため、共に協力することを決意した。

理事会は、退任する IC 議長、ワン・ナムクン教授のリーダーシップと献身に感謝し、翌年の議長に就任するアルンクマール・スリバスタヤ氏の任命を祝した。

高い実績が継続していることを振り返り、理事会は一つの ITER チーム - ITER 機構と 7 国内機関 - によるプロジェクトを成功へ導く効果的な協力へのコミットメントを賞賛した。理事会は、今後もプロジェクトの実績の密接な監視と達成のペースを維持するために必要な支援を続ける。

### 2. ダイバータ調達取決め改正署名式

2013 年 11 月に開催された第 13 回 ITER 理事会 (IC-13) においてダイバータの大きな設計変更、すなわち、ITER 炉内機器中最も高い熱負荷に曝されるダイバータ受熱部の表面保護材料を炭素繊維複合材から、タングステンに置き換え、運転当初からすべてタングステンとする設計変更が承認された。これを受けて、量子科学技術研究開発機構 (量研) は、ダイバータ外側ターゲットのフルタングステン化のための技術開発、タングステンと銅合金製冷却管の接合技術や、表面最高温度が 2000℃以上となる繰り返し高熱負荷に対しても割れにくいタングステン材の開発を ITER 機構や製作メーカーと協力して実施してきた。これらの技術開発により、これまでに、ITER で想定される最大熱負荷 20 MW/m<sup>2</sup>、繰り返し 300 回に対して、3 倍以上の 1000 サイクルに耐える実機長ダイバータ外側ターゲットプラズマ対向ユニットの開発に世界に先駆けて成功した。この結果を受けて、ダイバータ外側ターゲットの詳細な技術仕様改訂を含む調達取決めの改正作業を ITER 機構とともに実施してきたが、このたび、2017 年 11 月に開催された第 21 回 ITER 理事会 (IC-21) 期間中に改正された調達取決めへの署名を完了し(図 2)、日本分担分のダイバータ外側ターゲットの調達を再開す

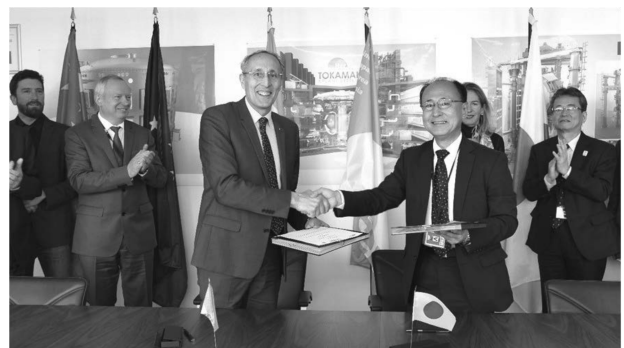


図 2 改正された調達取決めへの署名 (ITER 機構本部)  
署名日：2017 年 11 月 15 日 (水)  
前列左：B. Bigot ITER 機構 機構長  
前列右：栗原研一 量研那珂核融合研究所 所長  
(ITER 機構提供)

る運びとなった。現在、量研では、ダイバータ外側ターゲット量産を目指し、タングステンブロックの大量製造法や受熱部接合方法の更なる改善並びにタングステンブロックの溶融を防ぐために必要な受熱部表面の凹凸を減らす受熱部の設置方法などに関する技術開発・製作設計をメーカーと協力して実施している。今後、これらの成果を製作するフルタングステンダイバータ外側ターゲットのプロトタイプで確認・実証し、その後、実機用外側ターゲットの量産を開始する予定である。

### 3. NBTF 機器製作・搬入完了式典

11月20日、イタリア・パドバのコンソルツィオ RFX に建設中の ITER 用中性粒子入射装置 (NBI) 実機試験施設 (NBTF) において、日本の調達機器である 1MV 高電圧電源機器の搬入完了を祝して式典が開催され、あわせて桜の木の記念植樹が行われた (図 3)。式典には ITER 機構、日本から文科省・伊藤文科審、松浦戦略官、量研から栗原所長、草間副所長 (ITER 日本国内機関長) から関係者、機器製作メーカーである日立製作所、欧州からは欧州委員会、地元行政長、パドバ大学、レニャーロ等研究機関の代表、及び欧州側の調達担当者らが参加した。

本電源は、世界最大出力の負イオンビーム (エネルギー 1 MeV、電流 40 A、運転時間連続 1 時間) を発生させるためのものであり、従来の NBI の性能に比べ電圧・電流が倍、パルス長が 100 倍以上という高い要求となっている。そのため、直流・長時間 1 MV 絶縁技術の開発試験を実施しながら 2012 年から製作を開始し、2017 年 3 月に製作を完了したものであり、製作と並行して、2015 年 12 月に最初の機器輸送を行い、同時に現地作業を開始して、これまで計 6 便の大型機器輸送を経て、2017 年 10 月に現地への機器搬入を完了した。



図3 NBTF機器製作・搬入完了式典でのサイトツアー。

現在、全体の約 9 割の機器の組立てを完了し、今回輸送した機器は、欧州が調達する機器の工事期間と調整を図りながら据付を行い、2018 年度に現地での統合試験を開始する計画である。

### 4. ITER 中心ソレノイド用超伝導導体の製作を完了

ITER の中心ソレノイド (CS) には 49 本の超伝導導体を使用される。ITER 参加極間で合意された調達分担に基づき、日本が 49 本全ての CS 導体を製作し、米国はこの CS 導体を用いて CS を製作する。CS 導体は、576 本の Nb<sub>3</sub>Sn 超伝導素線、288 本の銅線とステンレス鋼製中心スパイラルで構成される燃線を高マンガンステンレス鋼 (JK2LB) 製ジャケットに挿入したケーブルインコンジット導体である。導体の長さは最長で約 920 m である。

一方、ITER の運転時には CS に対して約 30,000 回の繰り返し通電を行う予定であるため、CS 導体の繰り返し通電特性を調べる必要がある。そのため、実機 CS 導体の製作に先立ち、2010 年に短尺の CS 導体を試作し、スイスプラズマセンター所有の SULTAN 試験装置を用いてその性能評価試験を実施した。その結果、繰り返し通電による予想外の超伝導性能の劣化が確認されたため、性能評価試験後の CS 導体に対して内部状態の調査を行い、繰り返し通電により超伝導素線に加わった大きな曲げが超伝導性能の劣化の原因であることを特定した。これに対して、燃線の撓りピッチを短くして超伝導性能の劣化を防ぐ手法を ITER 機構や製作メーカーと協力して確立し、撓りピッチを短くした改良導体の性能評価試験を行い、超伝導性能に劣化がないことを確認した。これにより、2013 年から実機用 CS 導体の製作を開始するとともに、製作した CS 導体の 29% にあたる 14 本の CS 導体に対して性能評価試験を行い、良好な超伝導性能を保持していることを確認した。2017 年 9 月には最後の CS 導体の製作を完了し、約 8 年の製作期間を経て全ての CS 導体の製作を完了した (図 4)。この成果は、ITER 計画における重要なマイルストーンの達成である。また、製作した CS 導体の総重量は約 700 トンとなり、前例のない長尺ケーブルインコンジット導体の量産を達成することができた。



図4 製作が完了した最後の中心ソレノイド用導体。



製作したCS導体のうち45本は2017年11月末までに米国へ出荷し,2018年2月までに全てのCS導体の出荷が完了する予定である。

## 5. ITER 計画及び ITER 機構職員募集説明会の実施

量研は ITER 国内機関として,核融合エネルギーと ITER 計画への理解,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。その一環として,11月には第18回核融合炉材料国際会議(ICFRM-18:於青森市・リンクステーションホール青森)と,Plasma Conference 2017(於姫路市・姫路商工会議所)においてそれぞれ展示ブースを出展した(図5)。展示ブースでは,ITER 模型を展示し,来訪者に ITER 計画のパンフレットやフォトブック,ペーパークラフト等を配布するとともに,ITER 計画についての説明や動画を用いた日本の調達機器製作の紹介を行い,また,ITER 機構職員募集の資料配布,及び関連情報を提供するための登録制度の案内も行った。来訪者からは ITER 建設及び日本の調達機器の進捗状況についての他,ITER 機構職員の待遇や実状に関して等,様々な質問が寄せられた。

今後もこのような広報活動を通して,核融合エネルギーの重要性や ITER 計画への理解を深めていただけるよう活動を続けていく。

(量子科学技術研究開発機構  
核融合エネルギー研究開発部門)



図5 Plasma Conference2017における展示ブースの様子。

## ITERだより(68)

### 1. TF コイル用の巻線部と構造物の第1号機の製作を完了

量子科学技術研究開発機構（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。TFコイルは、超伝導導体などで構成される巻線部（WP）と、それを収納するTFCSから構成される。

WPは、7体のダブル・パンケーキ（DP）で構成されており、これまでにWPの含浸作業を完了している（ITERだより66号にて報告）。今回、含浸後のWPに冷媒を導入するための配管や計測素子を取付け、無事WPの第1号機の製作を完了した（図1）。今後、WPを液体窒素温度（77 K）まで冷却してヘリウム・リーク試験等の検査を実施した後に、TFCSと組み合わせる一体化作業に着手する予定である。



図1 製作を完了したTFコイル第1号機用のWP.

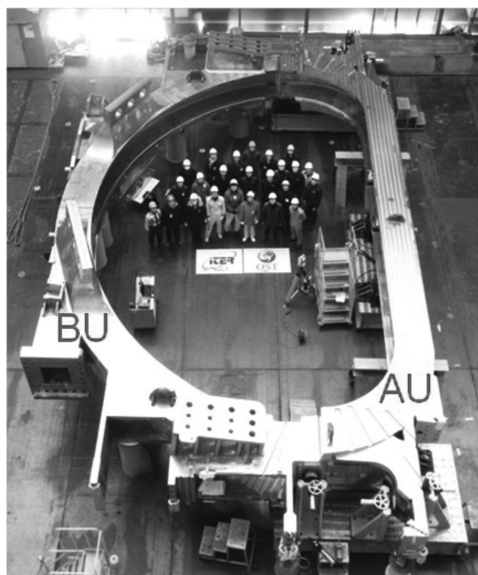


図2 組合せ試験に合格したTFCS第1号機用のAU及びBU.

一方、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、量研は19組のTFCSを製作する。このうち欧州向けTFCS第1号機の完成検査をITER機構及び欧州極内機関の立会の元、2017年12月にTFCSの外側部品の製作を担当する韓国の現代重工業にて実施した。完成検査では、一体化作業でWPを挿入した後に封止溶接されるBUとBP及びAUとBUの開先部の組合せ試験を実施した（AUとAPの開先部の組合せ試験は実施済）。その結果、全長16.5 mのTFCSに対して要求を満足する1 mm以下の精度で組み合わせることに成功し、無事試験に合格した（図2）。これにより、世界で初めてTFCSの製作を完了し、製作完了を祝して日本及び韓国の政府関係者、TFCSの製作に携わるITER機構、日本及び韓国の国内機関及びメーカーの各担当者とともに、祝賀会を開催した（図3）。その後、全ての部品を梱包し、2018年1月末に欧州国内機関が一体化作業を実施するイタリアの一体化工場に向けて出荷した。TFCS欧州向け第1号機は2月末に欧州の一体化工場に到着する予定で、到着次第、欧州国内機関は一体化作業に着手することになっている（図4）。



図3 世界初のTFCSの製作完了を祝う祝賀会.



図4 欧州の一体化工場に向けて出荷されるTFCS第1号機.

## 2. ダイバータ不純物モニターとダイバータ赤外線サーモグラフィーの予備設計レビューの開催

日本が調達するプラズマ計測装置の一部である、ダイバータ不純物モニター（上部ポート機器、水平ポート機器）(DIM) とダイバータ赤外線サーモグラフィー (IRTh) の予備設計レビュー（PDR）が、それぞれ 2017 年 11 月 29 - 30 日と 2017 年 12 月 6 - 7 日に ITER 機構本部で行われた（図 5）。

DIM は、分光的な手法でダイバータプラズマを 200 - 1000 nm という広い波長範囲において二次元的に高空間分解能（50 mm）で計測する装置であり、金属不純物、注入ガス不純物、燃料比、ヘリウム排気、イオン温度、電離フロント位置の計測を行う。IRTh は、内側及び外側ダイバータターゲットを、3 mm という高い空間分解能で、200℃から 3600℃の表面温度分布（0.1 - 2.5 MW/m<sup>2</sup> の定常熱流束分布と 0.02 - 0.5 GW/m<sup>2</sup> の非定常熱流束分布）を最小時間分解能 20 μs で計測することが求められている。

ITER の調達機器の設計段階は、概念設計、予備設計、最終設計と進み、それぞれの設計段階ごとに設計レビューが行われ、ITER 機構外部の専門家（議長を含む）と ITER 機構の専門家による十数名のレビューパネルにより設計内容が審査される。PDR では、各プラズマ計測装置について①要求事項が適切に定義され、検証され、適切に文書化されていること、②機器のレイアウトとインターフェースが固定されていること、③要求事項を満たす設計コンセプトが開発され、解析による妥当性の評価や設計の裏付けとなる R&D が適切に実施されていること、④設計、製作、運転のリスクが特定され、軽減策が講じられていること、⑤最終設計に進むための確固たる基礎が築かれていることが主としてチェックされた。

今回の PDR における重要な技術課題として、DIM では、光軸調整機能の詳細検討と構成機器の許容設置誤差の明確化、計測性能のより詳細な評価を行うことが指摘された。また、IRTh では、二波長温度測定において、2 つの赤外線カメラで測定した二次元画像をピクセル単位で正確に重ね合わせる方法が確立されていない点及び画素

がずれた時の温度誤差評価に関する指摘があった。これらの重要技術課題については、速やかに解決しレビューパネルに報告する予定である。今回の PDR により、設計上の問題点、今後の課題が明確になり、DIM と IRTh の設計活動が前進した。

## 3. トリチウム除去系性能確証試験の進展

量研は ITER 機構と共同でトリチウム除去系（DS）の調達を行うための取決めに 2014 年 12 月に締結した。この取決めの下で、DS の調達活動を担う共同調達チームを発足させ、DS の最終設計活動を進めている。安全上重要システムである DS は仏原子力規制当局から性能確証試験の実施が求められている。2015 年 9 月に日本における性能確証試験の実施を規定した DS 調達に関する第 1 期の調達取決めが発効し、2020 年度末までの予定で DS 性能確証試験活動が開始された。DS は、設計値で 99.9%、安全評価上は 99%、火災時において 90% 以上のトリチウム除去効率が求められる。DS の基本原理はトリチウムを触媒で酸化し、生成したトリチウム水蒸気を回収するものである。既存のトリチウム取扱い施設の DS はトリチウム水蒸気の回収に水蒸気吸着塔を使用しているが、ITER の DS では水-水蒸気間水素同位体交換塔（スクラバ塔）が用いられる。スクラバ塔は既存のトリチウム取扱い施設における使用実績がないことから、処理流量において実機の 20% 規模のスクラバ塔システムを製作し

（図 6）、その性能評価試験を進めてきた。その結果は DS に関する性能確証試験報告の第一弾として仏原子力規制当局への報告を完了している。異常時においてもトリチウム除去性能の維持が求められる DS として、今年度は DS が設置される建屋の地震動を模擬したスクラバ塔の三次元加振試験を実施し、加振後のスクラバ塔においてもトリチウム水蒸気除去性能が維持できることを確証した。トリチウム触媒酸化塔においては火災等の異常時に発生する不純物ガスに対する性能影響を精査している。来年度は ITER 施設で発生が想定される異常事象においても DS の性能が維持できることを確証する統合確証試験及び DS 性能の経年劣化の有無を精査する評価試験の



図5 赤外線サーモグラフィーの予備設計レビュー会場の様子。



図6 性能確証試験用スクラバ塔システム。

実施に向けた活動を予定している。

#### 4. ITER 建設サイトの進展状況

ITER建設サイトの長さ1 km, 幅400 mの広大なプラットフォームは約2000人の作業員により昼夜交代で建設作業が進められ, 既に幾つかの建屋が完成し, 建屋や資材で埋め尽くされている(図7). 中心部にあるトカマク建屋では, 型枠が取り外されて, 直径30 m, 高さ30 mの円筒形の生体遮蔽のコンクリートが出現した(図8). また, 組立建屋の内部では, 大型のトカマク組立ツールの基礎が設置された. クライオスタット組立建屋では, 直径30 mのクライオ容器が組み立てられて, 巨大な姿

を現しつつある. 2つのコイル電源変換器建屋が完成し, 電源設備の到着を待っている.

このように, ITERサイトの建設は日々進展しているが, トカマク建屋の建設状況は, ITER 機構ウェブサイト <https://www.iter.org> から「NEW LIVE STREAM CAMERA」を選択すると, 地上60 mの高さに設置されたライブカメラの映像を見ることができる.

(量子科学技術研究開発機構  
核融合エネルギー研究開発部門)



図7 ITERの建設状況 (2018年1月撮影 ITER機構提供) .



図8 ITERトカマク建屋の建設状況 (2018年2月撮影 ITER機構提供) .  
直径30mの円筒の形を現した生体遮蔽. 丸い開口部は中性粒子ビーム入射、  
四角の開口部は計測装置や加熱装置に使われる。

## 1. 欧州向けTFコイル構造物第1号機のイタリアへの輸送を完了

量子科学技術研究開発機構(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。TF コイルは、超伝導導体などで構成される巻線部 (WP) と、それを収納する TF コイル構造物 (TFCS) から構成され、これらを組み合わせる一体化作業の後に TF コイルが完成する。

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。円弧のような形状を有する各部品の長さは最大 16 m、4 個の部品の総重量は約 200 トンにも及ぶ。このような TFCS のうち、欧州向けの第 1 号機の製作を 2017 年 12 月末に完了し、2018 年 1 月に欧州極内機関が指定するイタリアの一体化工場へと出荷した。

出荷から約 1 カ月後、イタリアのマルゲラの港に到着し、その後、同港から約 1.5 km の距離にある一体化工場へ陸上輸送を実施した。陸上輸送においては、上述のとおり TFCS が重量物であると共にその弧形状のために重心が物体上にないため、陸上輸送時の衝撃等によりバランスが崩れる懸念があった。そこで、TFCS への衝撃防止及び TFCS の重心管理のために、エアサスペンションを有するトラックを使用し、TFCS の重心位置とトラック荷台の中心を一致させる位置調整を行った後に、TFCS の状態を監視しながら約 10 km/h の速度で陸

送し、無事、一体化工場への TFCS の搬入を完了した(図 1)。搬入後に、欧州極内機関と ITER 機構による外観検査等の受け入れ検査が実施され、これに合格し欧州極内機関への TFCS の引渡しを完了した。本成果により TFCS の量産に向けた見通しを得た。

## 2. ITER・TF インサートの試験を開始

ITER のトロイダル磁場 (TF) コイル用の超伝導導体 (TF 導体) には、ITER 運転時に TF コイルの励消磁を繰り返し行うため、1000 回の繰り返し通電後に 5.7 K 以上の分流開始温度 ( $T_{cs}$ ) を有することが要求されている。また、ITER のメンテナンス等のために TF コイルを 300 K まで昇温して、その後に 4.5 K まで再冷却することから、TF 導体には 4.5 K から 300 K までの熱履歴が加わる。そのため、熱履歴による TF 導体の超伝導性能の変化を評価することも重要である。

量研では、ITER 計画において製作した TF 導体が要求性能を満足していることを確認するために、実機 TF コイル用導体を用いて TF インサートコイル (TFIC) を製作し(ITER だより 61 号にて報告)、2016 年 9 月から 2017 年 3 月に那珂核融合研究所が所有する大型超伝導コイル試験装置を用いて第 1 回目の TFIC の性能評価試験を実施した(図 2)。第 1 回目の試験では、1000 回の繰り返し通電後に TFIC に対して合計 5 回の熱履歴(300 K までの昇温と 4.5 K までの再冷却、WUCD)を与え、熱履歴



図1 イタリアの一体化工場への搬入を完了した欧州向けTFコイル構造物第1号機(手前はAU, 奥はBU)。



図2 TFインサートコイルの試験装置への組込みの様子。

が  $T_{cs}$  に与える影響を評価した。その結果、WUCD 前に 6.8 K であった  $T_{cs}$  が、WUCD を繰り返すことで直線的に低下し、5 回の WUCD 後には  $T_{cs}$  は 6.4 K まで低下した。

この結果を受け、実機 TF コイルの運転の見通しを再検討するために、WUCD による  $T_{cs}$  の低下度合いを引き続き詳細に調査することを ITER 機構と合意し、最大で 7 回の WUCD 及びその後の  $T_{cs}$  測定を行う第 2 回目の性能評価試験を実施することとした。2018 年 1 月から大型超伝導コイル試験装置及び TFIC の冷却を開始し、同年 2 月から性能評価のための通電試験を開始した。2018 年 4 月現在も試験を継続しており、同年 6 月までに試験を完了する予定である。

### 3. 日本国内機関長（JADA ヘッド）の交代

2018 年 3 月 31 日付けをもって草間義紀・前日本国内機関長が退任し、4 月 1 日より量研那珂核融合研究所・ITER プロジェクト部部長の杉本誠が新たに日本国内機関長に就任した。奥野清が引き続き機関長代理として、また新たに井上多加志が機関長代理に指名され、日本国内機関は新体制となった。現在日本では、TF コイル構造物の量産、TF コイル 1 号機の製作が進んでおり、さらに中性粒子入射装置実機試験施設 (NBTF) の現地試験が開始されようとしており、機器調達の良い境を迎えている。ITER 日本国内機関は新体制の下、国内大学・研究機関の皆様のご指導、ご鞭撻を仰ぎつつ、産業界と協力して調達を進め、ITER 計画に貢献していく所存である。

### 4. ITER 機構に新たに 8 名の日本人職員が着任

ITER 機構の日本人専門職員数は、2012 年に 28 名をピークに減少傾向となり、2015 年中頃から参加 7 極中最少人数となっていた。ITER 機構のビゴ機構長もこの事態を憂慮し、昨年より ITER 機構、文部科学省及び日本国内機関 (JADA) 間で定期的に会合を開き、日本人職員増員策を協議し、量研の ITER 計画ホームページ等で募集情報記事や応募プロセス案内の充実を図るとともに、各方面で活発に広報活動を行って ITER 計画の認知度改善に努め、より幅広い分野の方々からの応募を促進してきた。その結果、徐々にその努力が功を奏し、2017 年には 8 名の日本人が ITER 機構職員に採用された (日本人専門職員数は 4 月 1 日時点で 25 名)。これらの方々の出身元はメーカー 3 名、量研 2 名、国際機関、海外大学、外資コンサルタント会社が各 1 名であり、すでに、トカマク技術部門及びプラント技術部門に各 2 名、機構長官房、プロジェクト管理本部、科学運転部門、建設部門に各 1 名が着任している。JADA は今後、これらの方々を含む日本人 ITER 機構職員を支援するとともに、学会他皆様の支援を得て日本人の ITER 職員をさらに増員すべく、広く ITER 計画の広報及び ITER 機構職員応募者支援活動を行っていく。

### 5. 第 24 回 ITER 企業説明会の開催

3 月 1 日、26 社から 40 名の参加者を迎えて、東京八重



図 3 第 24 回 ITER 企業説明会にて講演する松浦 文部科学省研究開発戦略官。

洲において第 24 回 ITER 企業説明会が開催された。まず、文部科学省研究開発局 松浦研究開発戦略官が、我が国の核融合エネルギー研究開発政策の全体像、ITER プロジェクトの現状及び今後の課題について説明した (図 3)。その説明の中で、ITER サイトにおいて、トカマク本体を囲う生体遮蔽壁が今年 2 月に完成するなど、2025 年のファーストプラズマに向けて着実に建設が進捗していることを示した。

量研からは、草間副所長より日本が分担する機器の調達について、約 90% の調達取り決めに締結し、その中でも超伝導コイルや中性粒子入射加熱装置関連の製作が進んでいることを示した。ITER 機構への日本人派遣の状況については、日本人職員のさらなる増加を目指すため、ITER 機構、文部科学省、量研の三者で協議・フォローアップを行っていく旨、説明した。さらに、ITER ダイバータ、トリチウム除去系装置、超伝導コイルの各機器の担当者が現在の調達状況や製作・輸送スケジュールなどを説明した。

今後とも日本の調達機器の製作を着実に進めるとともに、多くの方に ITER 計画を知っていただくために広報活動の強化に努めていく。

なお、本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」をご覧ください。(http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/index.html)

### 6. ITER 計画紹介マンガの公開

量研は ITER 日本国内機関として、ITER 計画、ITER 建設活動及び国内における ITER 調達機器の製作について、ITER Japan ウェブサイトや SNS などを利用し情報普及活動を行っている。

この度、ITER 計画とは何かを幅広い方々に知っていただくため、ITER 計画紹介マンガ「地上につくる小さな太陽「ITER (イーター)」」を作成し、ITER Japan ウェブサイトに公開した (図 4)。主人公たちの会話や簡単な図を使った説明等を通し、読み進めながら ITER 計画に関する知識を自然に深めることができ、科学や工学に関する専門知識がない方や、子供にも理解しやすい内容となっている。また ITER 計画紹介マンガは、英語、仏語に



も翻訳され、世界中の人々に向けて発信されている。

なお、ITER 計画紹介マンガ（日本語版、英語版、フランス語版）は ITER Japan ウェブサイトでお読みいただけます。（[http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/comic/page1\\_1.html](http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/comic/page1_1.html)）

（量子科学技術研究開発機構  
核融合エネルギー研究開発部門）



図4 ITER計画紹介マンガ“地上に作る小さな太陽「ITER（イーター）」”。

## 1. 第22回 ITER 理事会開催：第22回 ITER 理事会は、2025年ファーストプラズマを達成するためのプロジェクトの進捗を確認した。

2018年6月20日、21日に開催された第22回理事会において、ITER機構からの最新の報告と組織的、技術的実績を詳細にレビューした(図1)。ITER計画は力強い実績と迅速な進捗を維持している。また、ITER機構と国内機関は挑戦的なスケジュールと過酷な技術的要求を満たすために統合チームとして活動を続けており、成功に向けてリスクの予測と緩和を行っている。

ITER 理事会は、以下の結論を得た。

- ・プロジェクトマイルストーン：2016年1月以降、理事会で承認された33の予定されたプロジェクトマイルストーンが達成された。これらには、最近のSPIDER中性粒子入射装置試験施設の試運転や据付活動のためのトカマクピットへの立ち入りの開始が含まれる。真空容器セクターやトロイダル磁場コイルなどの技術的にチャレンジングな機器の製作や冷凍設備の据付、サイトサービス建屋、磁場コイル用電源について具体的な進捗があった。最新の実績指標に基づく、プロジェクトはファーストプラズマの達成まで55%以上が完了している。
- ・建設戦略の改良：理事会は、トカマク複合建屋における機器据付を最適化し、2025年ファーストプラズマを2016年全体事業コストの範囲内で達成するスケジュールを維持するための建設戦略の改良を承認した。理事会はまた、トカマク複合建屋における組立及び据付活動をITER機構の下で統合する提案を支持した。
- ・財務・人事：理事会は、会計監査委員会によるITER機構における会計の肯定的な評価に留意するとともに、高い資質を持った候補者を雇用するために、ITER機構の広範な能力を向上させる人事アクションプランの実施に関する力強い進捗に留意した。理事会は、次の3年の予算案に関する有意義な議論を行った。
- ・ITER参加極による支援：理事会は、各参加極によるベースライン2016の承認を得るための努力を認識し、



図1 第22回 ITER 理事会出席者 (ITER 機構提供)。

率直な議論を行った。中国、欧州、日本、韓国及びロシアは国内における協議手続きを完了し、2016年ベースラインの承認に向けた準備が整っている。理事会は、全てのITER参加極がタイムリーに毎年の物納及び現金貢献を行うことが、建設戦略の改良と2016年ベースラインの成功裏の実施、2025年ファーストプラズマの達成に重要であることを再確認した。

理事会メンバーは、核融合科学技術の開発を行うITER計画の使命と展望の価値に向けた強い信念を再確認し、ITERの成功を促進させるタイムリーな解決策を見つけるために協働するよう決意した。理事会は、一つのITERチーム—ITER機構と7つの国内機関—によるプロジェクトを成功に導く効果的な協働へのコミットメントを賞賛した。理事会は、プロジェクトの実績を綿密に監視し、現在の達成ペースを維持するために必要なサポートを続ける。

## 2. 第23回 ITER 科学技術諮問委員会 (STAC-23) の開催

5月15-17日の3日間、ITER機構 (IO) 本部において第23回 ITER 科学技術諮問委員会 (STAC-23) が開催された(図2)。日本からは2名の委員 (山田弘司 (NIFS)、鎌田裕 (QST)) 及び3名の専門家 (寺井隆幸 (東大)、井上多加志及び花田磨砂也 (QST)) が出席した。前回のITER理事会 (2017年11月) で求められたチャージ (i) ディスラプション緩和システム (DMS) のITER機構の戦略、ii) 2025年の初プラズマ維持のための改定建設戦略の妥当性、iii) イオンサイクロトロン共鳴加熱システム (ICRF)、中性粒子入射システム (NBI) の開発加速計画の評価、iv) 真空容器内垂直方向安定化コイルの設計進捗) について IO からの発表を聴取した後、チャージ毎のサブグループに分かれ、事前に徴収したインプット文書に加えて、必要に応じて IO 担当者から追加の説明を聴



図2 第23回 ITER 科学技術諮問委員会 (STAC-23) の日米露参加者 (クライオスタット組立作業場視察)。



図 3 ITER 機構の真空容器、組立、工程担当者が那珂研を訪問。

取して協議を行った。その結果、DMS 用水平ポートの追加の技術基盤を本年10月の会合で提示すること、真空容器をセクター毎に組立てていく手法は実現可能であり、組立スケジュールの最適化に貢献すること、ICRF と NBI の加速はプロジェクトに大きなリスクをもたらさずには実現できない、等の提言を取りまとめてITER理事会に報告した。

### 3. ITER 機構の真空容器、組立、工程担当者が那珂研を訪問

6月4日から1週間、ITER機構 (IO) の岡山克巳 (建設部門長)、CH Choi (真空容器部部長)、J. Reich (トカマク組立部部長)、N. Sapet (建設プロジェクト管理課) の4氏が来日した (図3)。QST では JT-60SA の本体建設現場を視察し、真空容器セクターの溶接接続、トカマク組立の詳細技術からプロジェクト管理まで、広範な技術分野で意見交換を行った。また日本国内機関 (JADA) の訪問では、日本が量産を進める TF コイル構造物の製作工程を確認するとともに、約1年後に迫った TF コイルの ITER サイトへの搬入工程最適化のための議論を行った。加えて、ファーストプラズマ前に日本が納入する予定の電子サイクロトロン加熱装置のジャイロトロン及びその補機設備、並びにマイクロフィッションチャンバーの準備状況、搬入時期、現地組立の技術課題等を報告・討議し、情報共有と課題の解決を図った。

IO 一行は TF コイルを製作している三菱重工 (株) 二見工場、(株) 東芝京浜事業所を訪問、TF コイル実機の製作工程も視察した。巨大な構造物が続々と製作される様を目の当たりにして、IO 側からは万全の受入れ態勢をとる旨の決意が表明されるとともに、最適化工程通りに機器搬入が進められるよう JADA に対して協力要請があった。

### 4. ITER 中心ソレノイド用導体の輸送完了式典の開催

5月3日、米国カリフォルニア州サンディエゴ近郊のジェネラルアトミックス (GA) 社において、日本が製作した ITER 中心ソレノイド用 (CS) 導体の米国輸送完了を

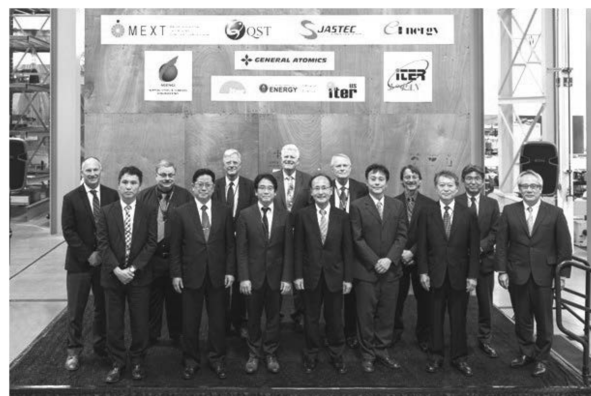


図 4 米国で開催した CS 導体の輸送完了に係る式典。

記念した式典が開催された (図4)。この式典には、文科省の松浦戦略官、量研機構から板倉理事ら関係者、及び日本の製作メーカー代表者らが出席し、米国からは、エネルギー省のヴァンダム科学局次長、ソートフ米国国内機関長、及び GA の関係者が参加した。

CS はプラズマに電流を流しプラズマ閉じ込め磁場を作るための超伝導磁石であり、13 T の高磁場の環境下で 40 kA の大電流を流せる Nb<sub>3</sub>Sn を用いた超伝導導体が必要である。日本は全量の 49 本 (計 700 トン) の導体製作を担当して 2012 年から製作を開始し、これまで前例のない Nb<sub>3</sub>Sn 超伝導導体の製作を完了させた。今回、製作した全導体について CS を製作する米国 GA 社への輸送が完了したため、記念式典を開催した。

この導体は、量研機構が開発した「繰返し電磁力」に対する性能劣化を回避する構造を適用して多くの技術的課題をその製造途中で克服し、初めて量産に成功したものである。

### 5. ITER 絶賛建設中！

ITER 建設サイト (仏サン・ポール・レ・デュランス) では、長さ 1 km 幅 400 m の広大なプラットフォームの上で、現在、約 2000 人の作業員が昼夜交代で作業を行っている。建設も佳境に入り、三十余りの建屋の建設が同時に進められると共に、各加盟極が製作する大型機器の搬入も始まっている。ITER 計画の日本の国内機関 (JADA)



図 5 文部科学省 2 階エントランスに掲示されたポスター。

は、ITER 建設活動の進捗を外部に分りやすくアピールし、ITER 計画への理解増進を目的として、ポスターを作成した。

ポスターには、JADA の公式キャラクター (ITER ちゃん&フュージョンちゃん) と「絶賛建設中！」とのキャッチコピーとともに、トカマク複合建屋や組立建屋、その周囲の付属建屋など、サイトの建設状況がダイナミックな写真で示されている。本ポスターは、5 月中旬より文部科学省 2 階エントランスに掲示されているので是非ご

覧いただきたい (図 5)。その後、文部科学省のエレベーター内、廊下、幹部居室など、様々なところに掲示されている。また、ITER 機構本部建屋でも掲示が始まった。

本ポスターは以下の JADA ホームページでもダウンロード可能となっている。

(<http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/index.html>)

(量子科学技術研究開発機構  
核融合エネルギー研究開発部門)

## 1. 日本向けTFコイル第1号機用構造物の仮組試験を完了

量子科学技術研究開発機構（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 コイル構造物（TFCS）の製作を進めている。TF コイルは、超伝導導体などで構成される巻線部（WP）と、それを収納する TFCS から構成され、これらを組み合わせる一体化作業の後に TF コイルが完成する。

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 個のサブ・アッセンブリから構成される。各部品は長さ最大 16.5 m、4 個のサブ・アッセンブリの総重量は約 200 トンにも及ぶ。量研は TFCS の完成検査として、一体化作業で WP を挿入した後に封止溶接する AU と AP、BU と BP 及び AU と BU の開先部の仮組試験を実施する。AU と AP、BU と BP の仮組試験では全長 16.5 m の開先全長に渡って、また AU と BU の仮組試験においては、TFCS の赤道面から規定される寸法約 6.6 m に対して、それぞれ 1 mm 以下の精度で組み合わせるといった非常に厳しい要求を満たす必要がある。

これまで欧州向け第 1 号機用 TFCS の仮組試験は完了している（ITER だより(68)にて報告）。その内、AU-BU の仮組試験は TF コイル一体化と同じ姿勢で実施する必要があり、欧州分では横置き（AU 及び BU の側面を下にして設置）にて実施した。一方、日本向け TF コイルでは欧州との一体化手法の違いにより、AU の背板を下に、BU の背板を上にした縦置きにて実施する。2018 年 8 月に日本向け TF コイルを製作する三菱重工業において、世界初の縦置きによる TF コイル第 1 号機用の AU-BU 仮組試験を実施した。工場のフロアに設置した AU に対して、ガイド柱に沿って BU を大型天井クレーンで降下させ、自重受けジャッキ等も組み合わせ繊細な位置調整を行った。その結果、前述の要求精度を満たして組み合わ



図 1 AU-BU 仮組後の日本向け TF コイル第 1 号機用構造物。

せることに成功した（図 1）。今後、同 TFCS に WP を挿入し、一体化溶接、含浸等を実施し、日本が調達する TF コイル第 1 号機として完成する予定である。

## 2. 第 5 回日中韓 ITER 国内機関技術会合

8 月 2 日～3 日に茨城県那珂郡東海村の東海村産業・情報プラザ「アイヴィル（iVil）」において、日本、中国、韓国による第 5 回日中韓 ITER 国内機関技術会合を今回は日本がホスト国となって開催した。会議には各国の政府関係者も含め、日本から 11 名、中国から 18 名、韓国から 10 名、合計 39 名が出席した（図 2）。この会合では、ITER のための調達機器の設計・製作に関する最新の状況の報告と技術課題に関する議論や調達活動に関する共通課題についての議論が行われた。

オープニングセッションでは、各国政府による式辞があり、日本からは文科省新井知彦研究開発戦略官が式辞を述べた。東アジア 3 か国の協力とそれを通じた ITER プロジェクトへの貢献が重要であることが各国共通して表明された。引き続き技術セッションが開始された。最初の技術セッションでは、各国内機関長が前回からの調達機器の進捗報告を行った。調達スケジュールを守るために、調達活動を着実に進展させていることが示された。次に、ブランケットとダイバータ技術、テスト・ブランケット・モジュール技術、超伝導導体とコイル技術、構造物の製作技術、計測装置技術、電源技術、ITER 調達に関わる課題に関する 7 つのセッションが行われ、それぞれのセッションで各国内機関から進捗報告があり議論を行った。最後にサマリーセッションを行い、各セッションの議長が作成したセッションサマリーを統合して、本会合の総括を行った。

本会合では、良好事例や共通課題、今後の円滑な調達を進めるための提案を取りまとめることができた。また、日中韓 3 国内機関は ITER 計画の成功を目指して、共通の管理上の課題と技術的課題を解決するために緊密な協力を継続すること及びサマリーセッションでの議論に基づき、アクションプランを作成することに合意した。次回の会合は来年 2019 年に韓国で開催する予定である。



図 2 第 5 回日中韓 ITER 国内機関技術会合の参加者。

### 3. ITER計画及びITER機構職員募集説明会の実施

量研は ITER 国内機関として、核融合エネルギーと ITER 計画への理解、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。

2018 年 6 月は横浜市で開催された第 13 回再生可能エネルギー世界展示会及び大津市で開催された第 12 回核融合エネルギー連合講演会にブースを出展し活動を行った。再生可能エネルギー世界展示会では、量研のブースに約 400 名が訪れ、主に核融合エネルギー及び ITER 計画の概要・展望等の説明を行った (図 3)。また、核融合エネルギー連合講演会では、ITER 建設サイトの進捗状況や ITER 機構職員募集に関する説明を行った (図 4)。今回出展した両ブースでは、バーチャル・リアリティ (VR) システムを用いて南フランスに建設中の ITER 建設サイトの紹介も行った。上空から撮影された ITER サイト全体の様子や ITER 本体を設置する場所であるトカマクピット中心部の建設現場の様子を臨場感あふれる画面でご覧いただいた。

今年度もこのような説明会や広報活動を開催し、核融合エネルギーや ITER 計画を多くの方にご理解いただけるよう邁進する。



図 3 第 13 回再生可能エネルギー世界展示会における展示ブース。

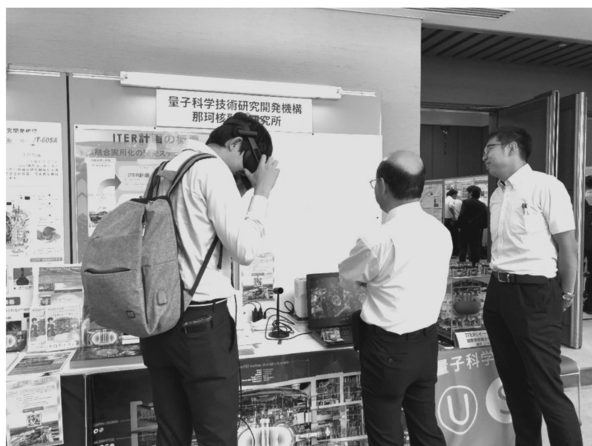


図 4 第 12 回核融合エネルギー連合講演会における展示ブース。



図 5 女子中高生夏の学校 2018 における展示ブース。

### 4. 女子中高生夏の学校 2018 に出展

8 月 9 日～11 日、埼玉県で女子中高生夏の学校 2018 が開催され、会期 2 日目に開催された「研究者・技術者と話そう」(ポスター展示・キャリア相談) に展示ブースを出展した。

本イベントは 2 泊 3 日の合宿中に科学研究者・技術者、大学生等と交流し、科学技術に触れながら将来の進路選択について考えるための場であり、全国から約 100 名の学生が集まった。今回は核融合科学研究所と共同でプラズマ・核融合学会としてブースを出展し、核融合エネルギーの研究開発を進める目的や各々が進める研究内容等を紹介した。量研としては、那珂核融合研究所が核融合エネルギー実現に向けて進めている研究活動や、それに伴う製作機器の紹介、ITER 計画の概要、バーチャル・リアリティ (VR) システムを用いた ITER 建設サイトの説明を行った。

ブースを訪れた学生には将来の進路選択に役立てていただけるよう気軽な意見交換や進路の相談等を受けるとともに、世界中で多くの女性研究者が活躍していることを伝えた (図 5)。

### 5. 2018 年度版広報冊子の発行

量研は ITER 日本国内機関として、核融合エネルギーや ITER 計画への理解を深め、また ITER 建設活動及び日本国内における ITER 調達機器の製作についての情報を普及するための活動を行っている。この度、広報資料として配布している ITER 計画パンフレット (2018 年)、日本版 ITER フォトブック 2017 等の冊子の内容を更新し、新たに発行した (図 6)。

ITER 計画パンフレットでは、逐日進む ITER サイトの建設状況や日本の調達機器の製作について、現在までの進捗状況を紹介している。日本版 ITER フォトブック 2017 では国内のみならず、各極の調達機器の製作状況も掲載され、ITER 計画全体が順調に進んでいる様子を見ることができる。また関連メーカーの工場内で撮影された貴重な写真等も掲載され、見どころ満載の内容となっている。





図6 2018年度発行の広報冊子.

前記の2冊以外にも、ITER計画に関する展示・説明会を開催した際、来訪者の方々にいただいた質問をまとめたITER計画説明会Q&A集のリニューアル版や、ITER Japan ホームページに公開しご好評をいただいているITER計画紹介マンガも発行した。

2018年度版広報冊子はITER Japan ホームページでご覧いただけます。

広報冊子のアクセス先

[http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/comic/page1\\_1.html](http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/comic/page1_1.html)  
(ITER計画パンフレット, ITER計画説明会Q&A集)

<http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/io/Photobook.html>  
(日本版ITERフォトブック)

(量子科学技術研究開発機構  
核融合エネルギー研究開発部門)

## 1. 第24回 ITER 科学技術諮問委員会 (STAC-24) の開催

10/10-11の2日間、第24回 ITER 科学技術諮問委員会 (STAC-24) が開催された。今回は初の試みとして、ITER 機構 (IO) 本部と各極 STAC 委員・専門家を仏時間 12:00 ~ 17:00 (日本時間 19:00 ~ 24:00) の間、ビデオ会議システムで結んで開催された。日本からは2名の委員 (山田弘司 (NIFS)、鎌田裕 (QST)) 及び3名の専門家 (寺井隆幸 (東大)、井上多加志及び林巧 (QST)) が、QST 那珂研の会議室から出席した (図1)。1日目は、主に前回の ITER 理事会 (2018年6月) で求められたチャージ (i) ITER 機構のテストブランケットモジュール (TBM) に関する提案のレビュー、ii) 以下を含む ITER 研究計画改良の進展の評価: a. 核融合出力前運転 (PFPO) におけるプラズマ運転に関する未解決の課題 (1.8 T プラズマでの ECRH 及び ICRF 加熱, ELM 制御コイルの初期電源構成)、b. 低域混成波電流駆動を用いない場合の定常 DT プラズマの到達可能な核融合性能の評価の完結。) について IO からの報告を聴取した。2日目には事前に徴収したインプット文書に加え、必要に応じて IO 担当者から追加の説明を聴取して参加者全員で協議し、ITER 理事会への報告書を作成した。その結果、TBM 専用ポートの数を3から2に減らすこと、2つのポートで6つの TBM を配備するための最適化戦略の評価を継続すること、IO がベースラインのスコープとスケジュールを守りながら PFPO-1 での H モード運転のためのオプションを探求すること、及び PFPO-1 フェーズ中の使用に間に合うように少なくとも9台の容器内 ELM 制御コイル用電源の調達を進めることを推奨した。また、定常状態を達成する目的が阻害されないため、LHCD を増強オプションから除外するという判断を再確認する等の提言を取りまとめて ITER 理事会に報告した。



図1 第24回 ITER 科学技術諮問委員会 (STAC-24) の日本側の様子。

## 2. ITER 用 170 GHz - 1 MW ジャイロトロンの1機目の完成検査を終了

ITER における電子サイクロトロン加熱・電流駆動 (ECH/ECCD) 及びプラズマの不安定制御に不可欠な 170 GHz - 1 MW ジャイロトロンの24機製作する計画で、日本を筆頭に、欧州、露がそのジャイロトン開発に鎗を削ってきた。その結果、日本国内機関である QST は、ITER 機構との間で ITER 用 170 GHz - 1 MW ジャイロトン実機 (8機分) の調達取り決め (PA) を 2013 年 9 月に交し、2015 年 6 月に最終設計レビューの完了を受けて製作を開始、そして 2017 年 2 月までに8機中、2機分の製作を完了させた (図2)。本ジャイロトンについては、PA に規定されている完成検査として ITER 機構が要求する以下の性能を確認することが求められている。

- ・ 1 MW - 300 秒、電力効率 50%
- ・ 1 MW - 300 秒、電力効率 50% のショット成功率 95% (20 ショット 18 ショット以上の成功)
- ・ 0.8 MW 及び 60 秒以上で、1 ~ 5 kHz の変調運転

このために、ITER ジャイロトン実機及び付属機器の据付や性能確認のための準備試験を進めてきた。この度、9月27日~10月3日の期間に ITER 機構のジャイロトン技術担当者の立会いの下でジャイロトン1機目の完成検査を実施した。1 MW 出力/300 秒間/電力効率 50% の運転を繰り返し Duty 比 25% で 20 回トライし、要求条件以上となる 95% の運転成功率を実証した。加えて、15 分間隔で 1 MW 出力/60 秒発振の 5 回トライでは 100% の



図2 ジャイロトン実機: 8機中、2機分の製作を完了。

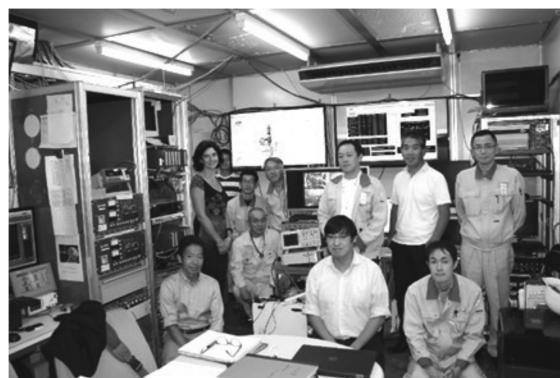
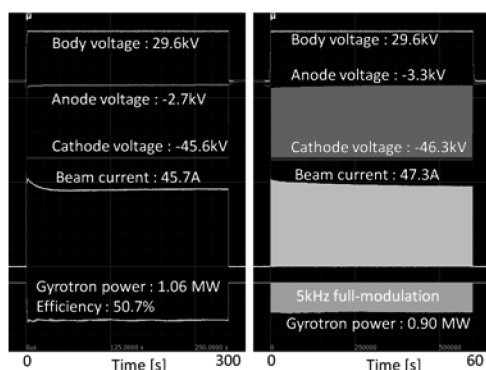


図3 (左) 1 MW 出力/300 秒波形, (中) 5 kHz 出力変調/60 秒波形, (右) FAT 実施時の制御室内風景.

運転成功率を示した. また, 1 秒, 10 秒, 50 秒, 100 秒の各パルス幅においても 1 MW 出力/電力効率 50% を達成した. さらに, パルス幅 60 秒/出力 0.8 MW で 1 kHz/3 kHz/5 kHz の出力変調運転を達成した. ITER 機構より要求された全ての試験項目に合格し, ITER ジャイロトロン 1 機目の完成検査を終了した (図 3).

### 3. ITER 建設サイト見学: 平子雅啓

私は現在東京大学の学部 2 年生であり, 将来的に核融合の研究に関わって行きたいと考えている. この夏, 幸運にも ITER 建設サイトを見学する機会を得た. この始まりは東京大学の夏季休暇期間の講義として, 寺井隆幸先生が毎年行っている東海村見学ツアーに参加したことであった. このツアーでは様々な原子力関係の研究機関を訪問, 見学したのだが, 那珂核融合研究所を見学した際, 栗原研一所長に ITER を見学することができないかとお願いをしたところ, 仲介を快く引き受けていただいた. また, 那珂研究所の神田健志さんと現地支援グループの嶋田義清さんには見学に必要な手続きや現地へのアクセス等, ITER 見学を支えていただいた.

そして来たる 9 月 7 日, 早朝にマルセイユ空港に到着した私と父は, 車で ITER 建設サイトへと向かった. 空港から 1 時間弱, 南フランスの地形と温暖な気候を楽しみながら, 幾年ぶりかわからない親子でのドライブであった.



図4 ITER サイト見学の様子 (PF コイル巻線棟).

なんとか迷うこともなく ITER 建設サイトに到着した. そこで佐藤和義現地支援グループリーダーにご挨拶いただき, その後見学という流れとなった. 見学ツアーは Visitors Centre - PF coils - Tour on the worksite by car というもので, PF コイルの見学をメインに, ITER 建設サイト内を車で見学するというものであった. ITER 機構のカトリナさんの解説の下, 一度に 5 人という少人数制での見学で, 途中いつでも自由に質問することもできるもので, 大変有意義な時間を過ごすことができた.

最初に Visitor Centre にて模型を用いて簡単に仕組みと特徴を解説していただいた. 非常に良くできた模型で, また解説や質問への解答も平易な英語でしていただき勉強になった.

その後 PF コイルを見学した (図 4). ここでは現在中国より到着したコイルの巻きつけを行なっている最中であり, コイルを巻きつけているところや, 運搬用クレーン, 超伝導コイルのサンプル等を見学した. ITER のスケールの大きさに圧倒された.

最後に, 車で建設サイト内をぐるりと一周しながら, コイル運搬経路, ヘリウム冷凍機建屋, 組み立て建屋, トカマク建屋を見学した. 建設サイトに並んだ国旗. 巨大な国際プロジェクトに胸が躍った.

エネルギー問題は喫緊の課題である. 核融合エネルギーの実現に向けて, 今後原型炉, 実証炉へと進んでいくために, ITER の重要性は今更言うまでもない. 今後も学習を続け, 核融合研究に貢献できるように一層の努力を続けていきたい.

### 4. ITER 機構インターンシップ体験記:

矢本昌平 (量子科学技術研究開発機構)

2015 年 9 月から 2016 年 3 月にかけて, 博士課程在学中に ITER 機構 (IO) に半年間のインターンとして現地に滞在し, 研究を行った. 当時の体験について, 研究面・生活面から報告する.

インターンシップの応募に際しては, IO ホームページに掲載されているインターンの公募テーマから, 自分のやってみたいテーマを選択し, IO 人事にコンタクトを取った. 私の場合は「ITER 周辺・ダイバータプラズマにおけるタングステン輸送のモデリング」というテーマを選択

した。その後、人事との日程調整を経てTV会議システムによる面接を行った。面接はおよそ60分で、面接官は、人事部の職員、テーマ担当のセクションリーダー、テーマの指導役の職員の3人であった。志望理由等一般的な面接で聞かれることは一切聞かれず、周辺プラズマ物理の知識を問う口頭試問に近い形であった。

テーマの概要について簡単に紹介する。IOでは周辺・ダイバータプラズマ輸送シミュレーションコードSOLPS-ITERを用いダイバータへの熱負荷計算、炉心への不純物侵入量の見積もり等、ITER運転に向けた予測計算が行われてきた。しかしながら、ダイバータ板から叩き出されるタングステン(W)不純物については、大きなラーマ旋回半径等、SOLPS-ITERの流体モデルで必ずしも扱えるとは限らず、より詳細なモデリングの必要性が指摘されていた。そこで、ITER運転におけるW不純物輸送の詳細な理解を進めるため、SOLPS-ITERでW以外のプラズマ・不純物粒子種を扱い、W不純物輸送については不純物輸送コードIMPGYROにて扱うSOLPS-ITERIMPGYROカップリングコードの開発を進めるというテーマである。

インターンシップを通じ、IOの研究者との議論を重ねながら、SOLPS-ITERIMPGYROカップリングコードの開発に成功し、W不純物輸送過程の解明に向けた基盤を整えることができた。また、インターン期間中は、コード開発だけでなく、各種会合への積極的な参加を促していただき、周辺・ダイバータプラズマトピカルグループ会合での成果報告の機会もいただいた。インターンシップ終了時には、60分間の成果報告発表と、20ページ程度の報告書の提出が全てのインターン生に義務づけられており、インターンシップの最後の1ヶ月はほとんどその発表準備・報告書作成に充てた。成果報告会終了時に、Science Divisionの皆からの寄せ書きをサプライズプレゼントとしていただき(図5)、温かく送り出してもらった。コード開発・妥当性検討、対外発表や最終報告書、最終報告発表と休む暇のない密度の濃い半年間を過ごすことができた。

インターンシップ期間中の研究以外の生活面についても体験を紹介する。IOへの通勤に便利なのは、IOへの直通バスが朝・夕方と出ているエクス=アン=プロヴァンス市(エクス市)とマノスク市である。特にエクス市は、半年間程度でも入居可の物件が比較的豊富にあったた



図5 最終発表後の集合写真。ITER建設サイトの空撮写真入りの寄せ書きをいただいた。

め、IOのイントラネットで見つけた物件を見つけ、契約をした。入居まではスムーズで、インターンシップを開始して1週間後には入居できた。エクス市は歴史ある古都であり、とても美しい街並みに毎日心を癒されていた。休日には旧市街で朝市も開かれ、多くの人でにぎわっている。私以外にもインターン生が数人おり、皆エクス市在住であったため、休日は集まってレストランで食事やバーでスポーツ観戦をするなど、インターン生同士の交流も盛んであった。生活面で一番苦労したのは、フランス語である。エクス市は観光地であるため、ある程度英語が通じる店員のいる店はあるのだが、郵便局やスーパーマーケットでは英語は殆ど通じない。お店で買い物ができる程度のフランス語は習得してからインターンシップに臨むべきだったと、ひどく後悔した。幸いなことに、IOでは週2回程度の頻度で、受講者のレベルに応じたフランス語の授業が行われていたため、なるべく参加することで2ヶ月目以降はなんとなくフランス語がわかるようになった。

既に帰国してからおよそ3年経ったが、IOでの体験は刺激に満ちており、その後の研究へのモチベーションを大きくあげてくれた。ITER機構での経験は、キャリア形成を含めその後の研究に大いに活かすことができたと考えている。学生の皆様には、是非ITER機構でのインターンシップを体験してみしてほしい。

(量子科学技術研究開発機構  
核融合エネルギー研究開発部門)