ITER だより(1)

1．ITER(イーター)共同実施協定締結

2006年11月21日，ITER 参加各極の閣僚級による会合がパリ・エリゼ宮（大統領府）で開催され，ITER 計画の実施主体となる ITER 国際核融合エネルギー機構（以下，ITER 機構と略記）を設立するとともに，参加各極の ITER 機構への貢献等について定める「ITER 事業共同実施のための ITER 国際核融合エネルギー機構を設立する協定」などについて署名が行われた．日本からは，岩屋毅外務副大臣（署名者）と水落敏栄文部科学大臣政務官が代表として出席し，ITER 協定，特権免除，暫定発効取り決め本協定に署名した．その結果参加 7 極による ITER の建設と運転に関する国際協定が締結されたことになる．今後，各極における批准や承認を経て，正式に発効される予定である．

なお，協定文等の詳細は，以下の外務省ホームページで参照できる．

外務省：最近署名を行った条約（国会に提出したものを除く）
http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/treaty/shomei.html
・イーター事業の共同による実施のためのイーター国際核融合エネルギー機構の設立に関する協定
・イーター事業の共同による実施のためのイーター国際核融合エネルギー機構の特権および免除に関する協定

2．第 1 回 ITER 暫定理事会開催

大臣級代表による第 1 回暫定 ITER 理事会がヤヌス・ポトチュニク科学研究担当欧州委員の議長のもとで2006年11月21日にパリにおいて開催された．これは新たに設立された ITER 機構の最初の活動となる．会合の主な成果は，ITER 協定を暫定的に実施する枠組みを提供し，ITER 機構に必要な能力と資源の利用手段を与えるとともに，池田 要 ITER 機構長予定者に対し，協定の暫定適用のもとで ITER 機構の活動を開始させ，その目的を追求させる権限を与えたことである．

3．ITER 機構における職員の公募開始

ITER 機構では活動開始にあたり，必要な職員を ITER 計画の参加国から公募することとし，2006年12月に，その募集要項が ITER ホームページ（http://www.iter.org/a/jobs.htm）に掲載された．今後何回かの公募がなされるものと予想される．我が国は，ITER 計画の参加国であり，我が国の国籍を有する人は，ITER 機構の職員公募に対して応募することができる．

日本原子力研究開発機構が，我が国政府からの要請を受け，日本における公募の窓口として，ITER 機構による職員公募に関する我が国における応募の事務手続きと関連情報を下記ウェブサイトにおいて提供している．この他，公募開始についての情報は，プラズマ・核融合学会，核融合科学研究所，核融合関連学協会を通じても配信された．
http://www.naka.jaea.go.jp/ITER/index.html

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

ITER だより(2)

1．カダラッシュサイトへ ITER 国際チーム員が集結

平成18年７月に CEA カダラッシュ研究センター内に ITER（イーター）国際チームの仮事務所が完成して以来，ドイツのガルヒンク共同作業サイトおよび日本の那珂共同作業サイトで設計作業に従事していた ITER 国際チーム員が本格的にカダラッシュへの移動を開始した．平成18年末には，ガルヒンクサイトおよび那珂サイトにおける活動を終了し，翌１月半ばにすべての国際チーム員がカダラッシュへ集結した．なお，平成18年11月21日に ITER 協定が正式に署名され，ITER 機構の暫定活動が開始されたが，ITER 機構が正式に発足するまでは国際チームによる移行措置活動が継続される予定である．

カダラッシュサイトにおける各極から派遣された ITER 国際チーム員は，平成19年２月末時点で約120名に達している．国際チーム員のほかにも，滞在研究者（Visiting Researcher）10数名が各極から派遣されている．また，CAD 技術者，秘書などのスタッフ50数名が国際チーム業務を支援している．これらを含めると総数約190名規模となっている．日本からは２月末時点で長期派遣者14名，短期派遣者５名を派遣し，ITER 建設開始に備えた技術的準備作業や ITER 機構の組織的準備作業を行っている．また，今後の人員増加に備えて，現在の仮事務所に隣接して第２仮事務所が建設中である．

2．ITER 建設サイトの整備作業が開始

平成19年１月末，CEA カダラッシュ研究センターに隣接する ITER 建設サイトにおいて樹木の伐採作業が開始された．作業は急ピッチで進められている．サイトの周囲にフェンスを立て，大型重機による伐採した樹木の運び出しや砂利の運搬などが行われている．このため，一般の国際チーム員や来訪者は ITER 建設サイトに立ち入ることが禁止された．今年10月までに 180 ha の広さの ITER 建設サイトの準備が完了する予定である．また，このサイト整備作業では，環境への影響を最小にするよう措置がとられ，ITER 建設サイトの約半分は森として保存されることになっている（写真１，２参照）．

3．ITER 機構職員公募への応募状況

ITER 機構の暫定活動の開始を受け，平成18年12月11日に，ITER 機構職員の公募が開始され，52のポジションに対する募集が ITER ホームページ（http://www.iter.org/a/jobs.htm）に掲載された．日本原子力研究開発機構では，我が国政府からの要請を受け，日本における公募の窓口として，応募書類の提出方法や関連情報を当機構核融合研究開発部門のウェブサイトに掲載した．

日本国内での応募書類の受付けは，平成18年12月25日より開始し，平成19年２月６日に予定どおり終了した．その結果，応募期間の短さにもかかわらず，25のポジションに対して29名の応募があった．応募書類はすべてカダラッシュの ITER 機構へ送付された．ITER 機構では，各参加極からの応募書類の受付期限を２月20日とし，その後速やかに応募者の選考に入るとしている．日本原子力研究開発機構では，ITER 機構と日本人応募者との間の連絡支援を引き続き行っていく予定である．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

写真１　土地整備を開始した ITER 建設サイト（右下が新たに整地したエリア）（ITER 機構提供）

写真２　ITER 建設サイトの整備状況（ITER 機構提供）

ITER だより(3)

1．ITER 協定が国会で承認

4 月17日の衆議院本会議において，ITER 協定（「イーター事業の共同による実施のためのイーター国際核融合エネルギー機構の設立に関する協定」）が承認された．これにより30日以内の批准が確定したことになる．欧州，米国，韓国及びインドはすでに批准等の国内手続きを実質的に終えている．批准等の国内手続きが完了していないのはロシア，中国のみとなった．今後，7 極がすべて国際原子力機関（IAEA）に批准書等を寄託した時点から30日後に ITER 協定が正式に発効し，暫定的な活動を実施している ITER 国際核融合エネルギー機構（ITER 機構）が正式に発足することになる．

2．EU 極内機関が設立

3 月27日にブリュッセルで開催された欧州連合理事会により，核融合エネルギー開発および ITER 国際核融合エネルギー機構のための欧州共同事業体が設立された．本共同事業体は，EU の ITER への貢献を統括する欧州極内機関となる．

本共同事業体はスペインのバルセロナを拠点とし，総予算96億5300万ユーロで，35年に亘り EU における核融合研究の主要な役割を果たす．本事業を通して欧州原子力共同体（EURATOM）は，ITER 国際核融合エネルギー機構，及び核融合エネルギーの早期実現のための日本との「幅広いアプローチ」活動に貢献する．さらに本共同事業体は，核融合実証炉や関連施設の建設へ向けた準備のための活動を調整する．

写真 1　Sultan 試験設備での性能試験に供された ITE R トロイダル磁場コイル用導体サンプルの断面（直径約 40 mm）（ITER 機構提供）．

3．ITER トロイダル磁場コイルの素線の性能試験

ITER トロイダル磁場（TF）コイルの超伝導ケーブルを構成する素線は，調達開始前に ITER 運転条件で性能を確認する必要がある．スイスの CRPP 核融合研究所にある Sultan 試験設備において，EU の企業 EAS により製作された 3.5 m 長さの導体サンプルの試験が行われ，良好な結果が得られた．本サンプルに用いられた導体は，イタリアの ENEA 研究所の監督下で製作され，CRPP において熱処理および組み立てが行われた．

本試験は ITER TF コイルの代表的運転条件で実施された．試験体は，10.8 T の磁場下で，0 kA から定格電流68 kA まで1000回以上繰り返し通電された．その結果，この条件下で導体サンプルは安定であり，1000 サイクル後の分流開始温度が 5.7 K 以上という合格条件を満足した．したがって EAS 製素線は ITER TF コイル導体に適用可能と考えられる．さらに，この繰り返し試験後に 11 T の磁場下で 80 kA の過負荷試験が行われたが，劣化は認められなかった．

今後数ヶ月をかけて，TF コイルの製作を分担する日本などの参加極から持ち込まれる導体サンプルに対して同様の性能確認試験が実施される予定である．

4．ITER 建設サイトの伐採作業がほぼ完了

カダラッシュにおけるホスト支援機関（Agence ITER France）の監督のもと，ITER 建設サイトの準備作業が進んでいる．その第 1 期として，仮設のフェンスがサイトの周囲に設置され，75 ha の面積に対して伐採作業が完了した．また，ITER サイトへのアクセス道路の工事も行われている．主要なアクセス道路は夏に建設され，9 月に開通する予定である．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

ITER だより(4)

1．ITER トロイダル磁場コイル用導体の性能試験が進展

本誌５月号のITERだより(3)で報告したように，ITER参加極が試作したトロイダル磁場（TF）コイル用の導体について，スイスのSultan試験設備を使用した性能試験を実施している．ITERのTFコイル用導体は，Nb_3Sn素線900本を522本の銅線とともに中心スパイラル管のまわりに撚り線し，ステンレス製のジャケットに挿入した構造である．ITER用のNb_3Sn素線として，ブロンズ法および内部拡散法で製造された素線が既に開発され，導体化されている．Sultan試験設備では，これまでにEUの導体２種類（ブロンズ法，内部拡散法），日本の導体２種類（ブロンズ法，内部拡散法），および韓国の導体１種類（内部拡散法）の試験が終了している．

性能試験ではTFコイルの運転条件を模擬して10.8 Tの外部磁場下で68 kAを通電し，超伝導状態を維持できる最高の温度（分流開始温度，T_{cs}）を測定した．この値が高いほど性能が良いことになる．T_{cs}に関するITERの要求値は5.7 K（0.7 Kの裕度を含む）で，これまでの総合評価として，ブロンズ法素線を使った導体の分流開始温度は6.3～6.8 K（暫定値）となり，優れた値が得られている．また内部拡散法素線を使った導体では，T_{cs}は5.8～6.0 K（暫定値）となり，要求値を満足している．日本はさらに別の線材メーカーによるブロンズ法素線２種類を開発しており，これらを使用した導体の性能試験を本年末に予定している．

2．ITER 用 170 GHz ジャイロトロンの開発目標値を達成

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ジャイロトロンの開発が，日本をはじめ，EU，ロシアで積極的に進められている．その中で，2006年末には日本原子力研究開発機構において，開発目標値（周波数170 GHz，出力１MW以上，パルス幅500秒以上，効率50%以上）を上回る，出力１MW，動作時間800秒（連続対応），効率55%の大出力発振に成功し[1]，ITERに必要な連続ミリ波源を世界で初めて実証した．

これまでにも，ITER用ジャイロトロンについて，日本は世界最高の効率の達成，人工ダイヤモンド窓の開発，１MW級高周波の発振などを世界に先駆けて成し遂げ，着実な性能向上を行ってきたが，ジャイロトロン内部での発熱や発振出力の低下等により，出力時間は100秒程度にとどまっていた．

その後，①ジャイロトロン内部で散乱する不要な高周波損失を約２%まで低減することに成功し，内部機器の温度上昇を抑えたこと，②長パルス動作時に起こるビーム電流の減少を，カソードヒーターのプレプログラム制御によって抑制したこと，③カソード形状の工夫により発振用電子ビームの質を向上させて発振効率を高めたこと，などにより，2006年夏には0.6 MWの実用出力レベルで１時間の定常動作を実証した．さらに，エネルギー源となる回転電子ビームの回転周波数とピッチファクターを発振中に制御することにより，高効率発振モード（難発振領域）での安定発振に成功し，その結果，出力，効率ともに大きく上昇し，ITER用ジャイロトロンの性能目標値を上回る結果を得ることができた．ロシアでも，５月に0.95 MWで100秒の発振に成功し，ITER用ジャイロトロンの調達に向けて着実に進展している．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

参 考 文 献

［１］K.Sakamoto, A.Kasugai, K.Takahashi *et al.*, "Achievement of robust high-efficiency 1MW oscillation in the hard-self-excitation region by a 170GHz continuous-wave gyrotron" Nature Physics **3**, 411-414(2007).

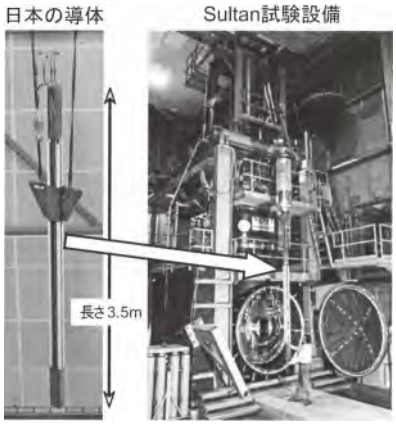


写真１　日本の導体サンプルとSultan試験設備

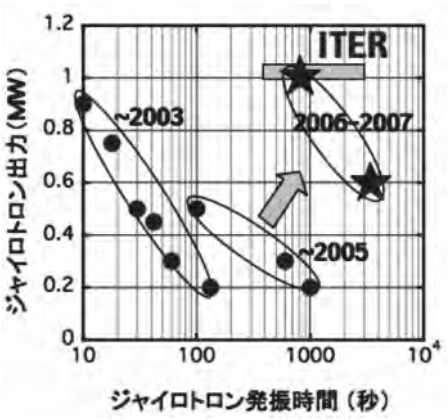


図１　日本原子力研究開発機構で開発している170 GHzジャイロトロンの性能の進展．

ITER だより(5)

1．第 2 回暫定 ITER 理事会が開催

第 2 回暫定 ITER 理事会が，サー・クリストファー・ルウェリン＝スミス（欧州原子力共同体核融合計画諮問委員会（CCE-EU）議長）の議長のもとで，7 月11日及び12日に東京において開催された（写真 1 参照）．本会議は，ITER の共同実施のための協定の署名の直後に開催された第 1 回暫定理事会（2006年11月21日，パリ）から約半年後の開催となった．

会議の開始に際して，ITER 協定の批准に関する進捗状況報告があり，ロシアでは下院および上院で承認されたこと，中国では 8 月末の全国人民代表大会で審議されることが報告された（その後ロシアでは 7 月23日にプーチン大統領が署名した）．近々中国において批准されれば，すべての署名国における批准プロセスは完了し，ITER 協定が発効することになる．

池田要 ITER 機構長予定者とノルベルト・ホルトカンプ首席副機構長予定者により，ITER 協定の暫定的適用下での事業活動の立上げについて報告があった．具体的には，カダラッシュサイトにおけるプロジェクトチームの組織作り，ITER 施設の設計レビュー，ITER プロジェクトに相応しい管理手法の開発，ITER 機器を調達するための詳細な仕様，および建設サイトにおける技術活動の開始などが報告された．

今回の ITER 暫定理事会では，ITER 事業活動の進展が認識されるとともに，以下の事項を含む多くの案件について方向性が示された．

- 建設段階における計画，詳細な人員計画および費用見積り
- 管理システムに関する具体的事項
- フランス当局や IAEA，CERN といった国際機関との間の協定に関する提案

また，モナコ公国とのパートナーシップ取極めに関する提案が支持された．

最後に，サー・クリストファー・ルウェリン＝スミス議長は，次のように総括した．「報告された進展と会議における建設的な議論は将来に向けて良い前兆である．重要な，そして前例のない ITER 国際協力は，今，実現への第一歩を踏み出している．」

2．ITER 機構職員公募などの状況

ITER 機構の暫定活動の開始を受け，昨年12月から今年 2 月にかけて，52の専門職員（Professional Staff）ポジションの公募が行われた．その結果，49のポジションに対して職員の採用が決定した．この新規採用者がカダラッシュサイトに着任すると，ITER 機構の専門職員は合計172名となる．参加極別でみると，EU101名，インド 4 名，日本15名，中国12名，韓国13名，ロシア14名，米国13名となっている．

今年 5 月から 9 月にかけて，2 回の追加募集があり，合計39の新たな専門職員ポジションの公募が行われた．これと並行して，メンバーの離任により空席となったポストなど，合計22の専門職員ポジションの緊急公募も行われた．これらの追加募集で空席ポジションが充足されれば，ITER 機構の専門職員は約210名に達する見込みである．

また，CAD デザイナーや秘書，技術支援スタッフなどの支援職員（Support Staff）についても，今年 5 月から 8 月にかけて 2 回にわたり，合計58ポジションの公募が行われた．これらのポジションが充足されれば，支援職員は合計約90名に達する見込みである．

ITER 機構の人員計画では，最終的には専門職員を約260名，支援職員を約320名にすることになっており，2008年以降も引き続き職員の公募が行われる予定である．

さらに，ITER 機構では，情報技術システムの整備・運用やウェブ対応のソフトウェア開発，工程管理支援，物納調達管理支援に関する業務を外部委託するとしており，今年 7 月から 9 月にかけて，これらの業務に関心ある企業を募集した．

日本原子力研究開発機構では，我が国政府からの要請を受け，日本における ITER 機構職員および外部委託業務の公募の窓口として，応募方法や関連情報を当機構核融合研究開発部門のウェブサイトに掲載している．今後も ITER 機構との間の連絡支援を引き続き行っていく予定である．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

写真 1　平成19年 7 月11，12日に第 2 回暫定 ITER 理事会が東京で開催．

ITER だより(6)

1．ITER 国際核融合エネルギー機構が正式発足

昨年11月に ITER 計画参加国により調印された「イーター（ITER）協定」*)は，その批准手続き等，参加各国の国内手続きが全て完了して本年10月24日に発効した．このことにより，ITER協定の下にITER計画を実施する国際機関「ITER 国際核融合エネルギー機構（ITER 機構）」が正式に発足した．同日，ITER 機構は，ITER カダラッシュサイトと ITER 計画参加各極の拠点とをビデオネットワークで接続し，ITER 機構発足の祝賀会を行った．祝賀会は，和やかな雰囲気の中，池田要 ITER 機構長のスピーチで始まり，引き続いて参加各極の代表の祝辞，祝杯，ケーキカットが執り行われた．

また，ITER 協定の発効を受け，文部科学省は同日，ITER 協定に基づく活動を行う我が国の国内機関に日本原子力研究開発機構を指定した．

＊）正式名称：ITER 事業の共同による実施のためのイーター国際核融合エネルギー機構の設立に関する協定

2．ITER 科学技術諮問委員会がスタート

本年 7 月の暫定 ITER 理事会により暫定理事会の諮問委員会として，ITER運営諮問委員会（Management Advisory Committee: MAC）とともに，ITER 科学技術諮問委員会（Science and Technology Advisory Committee: STAC）の設置とその最初の任務が決定された．STAC は，暫定理事会の要請の下，ITER 計画の実施に関係する科学技術的事項について評価し，暫定理事会に助言を与えるものである．暫定理事会は，各極の推薦に基づいて 1 極当たり 2 名の STAC 委員及び委員の中から 1 名の調整役（議長）を指名する．各極は，委員会会合に委員以外に 3 名までの専門家を参加させることができる．調整役も委員ではない複数の専門家を会合に招聘することができる．STAC は，通常年 2 回程度の会合を持つものと想定されており，会合毎にその議論と暫定理事会への助言に関する報告書を作成する．この STAC に対する最初の任務として，2006／2007年に暫定 ITER 機構により行われた設計レビューの成果としての新たな"Project Baseline Documents"，すなわち"Project Specification"，"Overall Project Schedule"，"ITER Project Plan and Cost Estimates"を評価することが要請された．この暫定理事会の要請を受け，第 1 回 STAC 会合が 9 月 5，6 日の 2 日間カダラッシュにおいて開催され，ITER 機構より"Project Baseline Documents"の準備状況が紹介された．第 2 回会合は11月 5 ～ 7 日にカダラッシュで開催される予定である．現在，日本の STAC 委員には，関昌弘高度情報科学技術研究機構理事長と伊藤公孝核融合科学研究所教授が指名されている．（2007年10月記）

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

3．核融合エネルギーフォーラムの発足

2007年 7 月に核融合エネルギーフォーラムが発足した．核融合エネルギーフォーラムは，ITER 建設や幅広いアプローチの本格的な実施を踏まえ2002年 5 月に設立された核融合フォーラムの発展継承となるもので，従来からのクラスター活動を引き続き充実させるだけでなく，大学や研究機関，産業界などの意見の集約や協力の調整などの役割などをより拡充させるものである．佐藤文隆先生（湯川記念財団理事長）が運営会議の議長を引き続いて務められ，10月現在，会員数も500名を超えた．

新しいフォーラムでは，運営会議の下に調整委員会の他にITER･BA技術推進委員会が新設された．ITER･BA技術推進委員会は，特に国から議長宛に出される ITER 計画や幅広いアプローチ（BA）に関する技術的諸課題の検討などの依頼事項について，議長の付託を受けて機動的に対応する役割を担っている．10月に開催された運営会議で，ITER 設計書の評価について国から正式な依頼があり，間もなく ITER･BA 技術推進委員会でその評価検討が開始される予定である．

一方，調整委員会では平成20年度の核融合エネルギー奨励賞について検討が始まった．また，調整委員会の下で，BA のデモ炉設計に向けた活動（社会と核融合クラスター），ITPA や BA の計算機シミュレーションセンターに向けた活動（プラズマ物理クラスター），及び ITER 用テストブランケットや BA の IFMIF-EVEDA に向けた活動（炉工学クラスター）などのクラスター活動が活発に展開されている．（2007年10月記）

（核融合エネルギーフォーラム事務局）

ITER だより(7)

1．第 1 回 ITER 理事会が開催

2007年10月24日に ITER 協定が発効し，その約 1 か月後の11月27日に，第 1 回 ITER 理事会が，フランス・カダラッシュにおいて開催された（写真 1 参照）．はじめに，ヴェルナー・ブルカート博士(IAEA 事務次長)より開会の挨拶が述べられ，続いて，クリストファー・ルウェリン・スミス卿（欧州原子力共同体核融合計画諮問委員会（CCE-EU）議長）が ITER 理事会議長に選出され，アカデミシャン・エフゲニー・ベリホフ（ロシア・クルチャトフ研究所総裁）が副議長に指名された．続いて，池田要氏が ITER 機構長に，ノルベルト・ホルトカンプ氏が首席副機構長に指名された．さらに 6 名の副機構長も指名された．その後池田機構長より，2007年 7 月の ITER 暫定理事会以降のプロジェクトの進捗状況について報告があった．とくに昨年末から行われてきた ITER 設計レビューが成功裏に完了したことに対して，ITER 理事会より謝意が述べられた．最後に，ルウェリン・スミス議長より次のような締めくくりの言葉が述べられた：「この第 1 回 ITER 理事会はプロジェクトの大きな節目である．設計レビューでは，今後いくつかの設計変更や選択についてさらに検討する必要があるが，おおむねITERの設計が健全であることが示された．今や ITER はサイトでの建設作業を開始し，主要な機器を調達する段階に達している．」

2．ITER トロイダル磁場コイル導体の調達取決めに署名

第 1 回 ITER 理事会の翌日，カダラッシュにおいて，池田要 ITER 機構長と日本の国内機関である日本原子力研究開発機構の長岡鋭国際部長が ITER トロイダル磁場コイル導体の調達取決めに署名し，我が国が調達を分担するトロイダル磁場コイル導体(全長約 22 km)の調達取決めが締結された（写真 2 参照）．今回の調達取り決めは，ITER におけるすべての調達取決めの最初のものであり，これにより，ITER 計画は建設段階へ大きな一歩を踏み出した．トロイダル磁場コイル用ニオブ・スズ超伝導導体は参加 7 極のうち日欧露米韓中の 6 極が分担して製作する．その全重量は約400トンに達し，このような大規模な超伝導導体の調達は歴史上前例がなく，導体の製造プロセスにおける性能評価や品質管理がとくに重要となる．次の段階の調達取り決めで扱うが，6 極が製作する導体を用いて，スペアを含めて全部で19個のトロイダル磁場コイル巻線を製作する．18個の巻線のうち日本は 9 個を製作し，残りの 9 個とスペア 1 個を欧州が製作することになっている．

3．ITER 本部協定が締結

2007年11月 7 日，池田要 ITER 機構長とフランス政府を代表してバレリー・ペクレセ高等教育・研究大臣が ITER 本部協定に署名した．本協定は，フランスにおける ITER 機構の法律上の地位を確立するものであり，具体的には ITER 機構に与えられる特権および免除に関する規定等が定められている．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

写真 1　第 1 回 ITER 理事会がカダラッシュで開催（写真は ITER 機構提供）．

写真 2　ITER トロイダル磁場コイル導体の調達取決めが締結．

ITER だより(8)

1．ITER 許認可の進捗状況

2008年１月末，ITER の許認可申請の主要文書である予備安全報告書（RPrS）及び環境影響評価書（Impact Study）を含む，いわゆる DAC（Demande d'Autorisation de Creation）ファイル（日本での設置許可申請書に近い文書．安全評価は予備的なものであり，提出後にまったく変更できないわけではない）が，ITER 機構からフランス原子力当局へ提出された．また，同じく１月末，ITER を建設するための公式な要望書である Permit de Construire（建設許可申請書）も St.Paul-lez-Durance 地方当局へ提出された．これらにより，ITER は建設許可へ向けて大きく前進した．

2．ITER サイトの整備状況

ITER 建設サイトの整備作業は順調に進展している（写真１参照）．事務棟を建てるエリアの整備は完了し，契約業者エリアでは仮設の建設設備を設置するための地盤整備が行われている．３月までに400人規模の作業者を動員して，新しい共同作業サイトの電力設備や給排水設備，事務所の建設が行われる．また，サイトの土壌の特性を確認するため，地質調査も行われている．

3．PF インサート・コイル試験の進捗状況

１月24日，ITER 計画推進の一環として，欧州原子力共同体が製作した試験用超伝導コイルを原子力機構那珂核融合研究所の超伝導コイル試験装置へ据付ける作業が行われた．この試験用超伝導コイルは外径が1.6 m，重量が６トンで，「PF インサート・コイル」と呼ばれ，ITER ポロイダル磁場コイル（PF コイル）で使用される超伝導導体の性能試験を行うために製作された．PF インサート・コイルの試験は，ITER 機構が PF コイル用導体の技術仕様を確定し，欧州他が調達を開始するために重要なものであり，試験は６月に開始される予定である．

4．モナコ公国とのパートナーシップ

１月16日，モナコ公国大公アルベール２世の臨席のもと，池田要 ITER 機構長とジャン＝ポール・プルーストモナコ公国国務大臣は，ITER 機構とモナコ公国のパートナーシップ協定に署名した（写真２参照）．この協定には，モナコ公国による10年間で550万ユーロの寄付が含まれ，５ポストの博士課程修了者フェローシップの設立及び ITER に関連する国際会議を開催するために使用される．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

5．核融合エネルギーフォーラムの活動状況

昨年10月に文部科学省から ITER 設計書の評価について依頼があり，佐藤文隆議長からその評価検討が核融合エネルギーフォーラム ITER･BA 技術推進委員会に付託されたことを受け，ITER･BA 技術推進委員会での議論を経て，専門的に取り組むワーキンググループが１月から準備活動を開始した．幅広く意見をお聞きするため，核融合ネットワークや核融合エネルギーフォーラムの関連クラスターにも ITER 設計の現状などについて説明を行っている．

核融合エネルギーフォーラムの第２回全体会合が「ITER 機構発足記念シンポジウム」として12月19日に開催され，池田要 ITER 機構長から ITER 建設に臨む最新状況について，また下村安夫前 ITER 国際チームリーダーから ITER 計画のこれまでの歩みと国際協力について特別講演があった．IPCC 第４次評価報告書と地球温暖化予測シナリオの紹介や核融合エネルギーへの期待，現在フォーラム内のワーキンググループで検討中の実用化に向けたロードマップ案などについての基調講演に続いてパネル討論が催され，ITER 計画の意義を再認識するとともに，ITER 時代を迎えた今，人材の育成と流動化の促進の必要性やグローバルな視点を持った ITER 計画への取り組みの重要性などが議論された．

講演資料や要旨など詳細は，Web を参照願いたい：

（http://www.naka.jaea.go.jp/fusion-energy-forum/）

（核融合エネルギーフォーラム事務局）

写真１　ITER 建設サイトの整備作業が進展．

写真２　ITER 機構とモナコ公国のパートナーシップ協定が締結．

（写真は ITER 機構提供）

ITER だより(9)

1．ITER トロイダル磁場コイル用導体の調達契約を締結

ITER参加極が試作したトロイダル磁場(TF)コイル用導体サンプルについて，スイスのSultan試験設備を使用した性能試験が実施されている．日本が試作した最初の導体サンプル（ブロンズ法，内部拡散法）の性能試験が昨年5月に行われ(昨年の本誌7月号ITERだより(4))，続いて，今年2月にブロンズ法素線2種類を用いて，昨年のサンプルとは異なるボイド率と撚り線ピッチの導体サンプル(写真)の性能試験が行われた．これらの試験ではTFコイルの運転条件を模擬して10.8 Tの外部磁場下で68 kAを通電し，超伝導状態を維持できる最高の温度（分流開始温度：T_{cs}）を測定した．サンプルの構造上の問題からジョイント部の影響を強く受け，素線単体の性能に基づく予測より低い導体性能を示したが，導体一般部分の性能としては，T_{cs}に関するITERの要求値5.7 K(0.7 Kの裕度を含む)を満足する見通しを得た．昨年5月と今回の結果を踏まえ，日本原子力研究開発機構（ITER計画における日本の国内機関）は，昨年11月にITER機構との間で締結した「TFコイル用超伝導導体の調達取決め」に基づいて，国内メーカー4社とTFコイル用導体製作の契約を本年3月に締結した．日本は先陣をきってTFコイル用導体の製作を開始したことになる．日本に続いて，昨年12月に欧州，本年2月にロシアが「TFコイル用超伝導導体の調達取決め」を締結した．さらに，3月には米国が試作した導体サンプルの性能試験が行われ，要求値以上のT_{cs}が確認された．今後，韓国，ロシア，欧州のサンプルの性能試験が予定されており，導体調達に関する作業が着々と進んでいる．

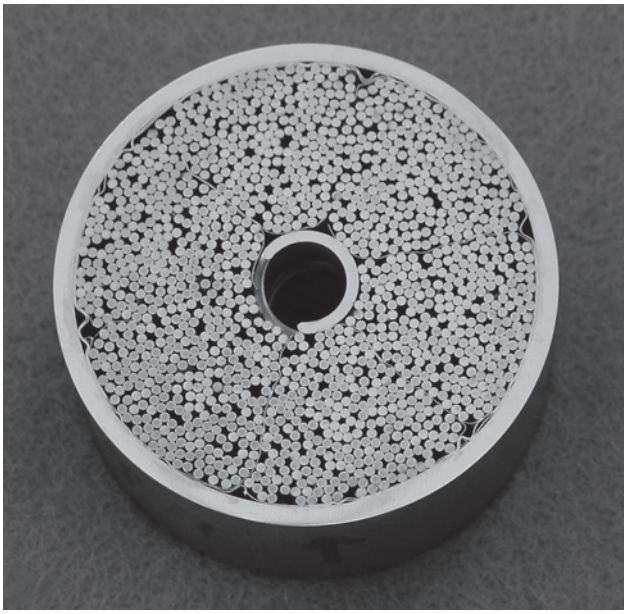


写真　日本で試作されたITER-TFコイル用導体サンプルの断面（Sultan試験設備において性能試験が行われた）導体直径：約43 mm，Nb_3Sn超伝導素線：900本，銅素線：522本．

2．ITER機構による博士課程修了者フェローシップの募集

モナコ公国とのパートナーシップ協定に基づいて，以下の分野を対象に，博士課程修了者フェローシップ（任期2年以下)の募集が，ITER機構により開始され，ITER公式ウェブページ(http://www.iter.org/monaco-partnership/)に掲載された．

＊Burning plasma physics (confinement, stability, plasma-wall interactions, control, energetic particle physics)
＊Heating and current drive physics
＊Superconducting magnet technology
＊Electrical engineering
＊Mechanical engineering/ structural analysis
＊Remote handling technology
＊Cryogenics
＊Thermo hydraulics

今回の募集は本年5月31日に締め切られ，その後，面接試験等を経て採用が決定されることになっている．

我が国は，ITER計画の参加国であり，我が国の国籍を有する人は，この募集に対して応募することができる．この募集開始に関する情報は，日本原子力研究開発機構のウェブサイト(http://www.naka.jaea.go.jp/ITER/index.html)においても提供した他，プラズマ・核融合学会，核融合科学研究所等を通じても配信した．

（日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門）

ITER だより(10)

1．第 2 回 ITER 理事会を青森市で開催

2008年 6 月17-18日，青森市において第 2 回ITER理事会が開催された．初日の冒頭，三村青森県知事は歓迎の挨拶の中で，「エネルギーの安定供給と気候変動に対する戦略的な取組みが世界中の関心を集めている現在，全世界がITER 計画に注目している．全世界の半数以上の人口を占める 7 極の実施により，ITER 計画は，エネルギーの安全及び安定な供給に向けて人類の知恵を結集して臨んでいるものである.」と ITER 計画の重要性について強調した．

池田 ITER 機構長は，第 1 回理事会(2007年11月)からの事業進捗，特に建設サイトの準備状況や事業チームの構築に焦点をあてて報告した．池田機構長は加盟極の継続的支援に感謝するとともに，「ITER は，現世代における偉大なる科学的挑戦である．ITER の建設により，加盟極は全く新しい国際協力モデルを構築した．また，ITER は，多くの国々の優れた才能を結合すれば，大きな原動力を生み出すことができるということを示す我々の挑戦である．ITER 計画は大きく進展していると確信している.」と述べた．

主要議題は，事業のスコープ，スケジュール，コストの観点から設計レビューの結果を議論することであった．ITER 機構により提案された新しい事業設計書（Project Specification)を，理事会は承認した．事業設計書は，ITER の科学的目標と技術的仕様を記載した上位文書である．また，ファースト・プラズマを2018年に達成することを目指して見直された全体事業スケジュール（Overall Project Schedule）を基に今後計画していくことを，理事会は合意した．また，理事会は，文書「ITER Project Plan and Resource Estimates」をITER機構から受け取り，議論の結果，資源見積りについては，国際的な専門家のグループを組織し，ITER 機構とは独立に評価させるよう指示した．

ITER 建設初期段階において 8 番目の加盟極として参加するための条件と，さらにその条件の下で，全ての加盟極政府の承認の後に ITER 協定への新たな極として加盟する可能性のあるカザフスタンとの正式な交渉の開始を併せて理事会は承認した．また，カザフスタンの代表が，その正式加盟の前に，ITER 機構が開催する会合にオブザーバーとして参加することも，理事会は同意した．

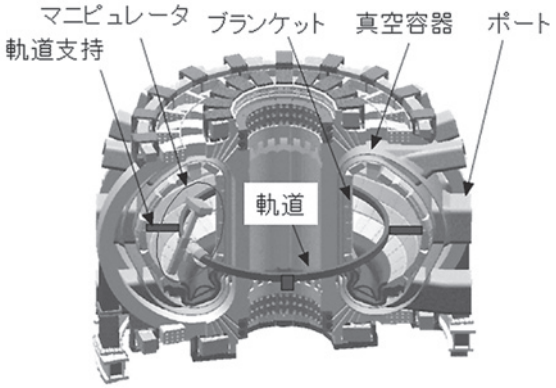
第 2 回 ITER 理事会（2008年 6 月17―18日，青森市）

理事会議長ルウェリン・スミス氏は，「全ての加盟極は，第 1 回理事会からの大きな進展と事業の進展を維持する重要性を認識した．ITER 機構と各極国内機関の多大な努力と全世界の核融合研究者コミュニティの支援により，主要な設計課題は解決され，理事会が新たな基礎設計を採用することが可能になった．ITER 機構の資源見積りに対する独立した評価作業を行うという理事会の決定は，新たな設計とスケジュールを実行に移す次のステップとなる.」と締めくくった．

2．ITER 用遠隔保守ロボットの位置制御性能の改善

日本が調達して ITER へ納入することになっているブランケット用遠隔保守ロボットの製作仕様を確定するための準備作業が，日本の国内機関(日本原子力研究開発機構)において進んでいる．ブランケット保守では 1 個 4 トンの大型ブランケットを，ロボットを用いた遠隔操作により，真空容器に設置された 2 つのキー構造に最終設置精度 0.5 mm 以内で設置する．キーの先端のテーパ形状を考慮したうえでこの最終設置精度を満足するためには，キー挿入前の位置決め精度として 5 mm 以内の高精度ハンドリング技術が要求される．このため保守ロボットは，真空容器内のトロイダル方向に沿って環状に展開される走行軌道の90度毎 4 点での支持と，この軌道上を走行するビークル（最大 6 m の伸縮可能なマニピュレータを搭載した台車）の組合わせにより，高い剛性と機動性を併せ持つことが特徴である．これまでに軌道展開のメカニズムや高精度ハンドリングのための位置決め手法の基本性能を実証してきたが，これらの結果に基づき，今回，位置決め制御性能を大きく向上させる制御法の改善を行った．

保守ロボットにはある程度の組立誤差が存在する．この組立誤差を持ったロボットでブランケットの位置決めを精度よく行うためには，エンドエフェクタと目標位置との相対的な位置関係を正確に計測して補正する必要がある．このため，相対位置を直接的に計測する方法として力センサを使用する接触法を使用する．しかし，これまでの接触法では位置決めに必要な 6 自由度（回転 3 自由度，並進 3 自由度）を 1 自由度毎に繰り返し修正する必要があるため位置決めに時間がかかるという問題があった．今回，位置決め時間を約 1/2 に短縮するために，並進 3 自由度の修正前に回転 3 自由度の修正を行う方法を考案した．先に回転 3 自由度を決めることによって回転自由度とは独立に並進自由度を扱うことがでる．この方法を実規模試験装置に適用



した結果，要求精度5 mmを満足する3 mm以下の位置決め精度を再現性良く実現することができた．今後，高精度ハンドリングの信頼性を高めるためにキー挿入時の「かじり」を抑制する力制御の性能試験を行う予定であり，本保守ロボットの製作仕様の確定に向けて準備を着実に進めているところである．

（日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門）

■ITPA（国際トカマク物理活動）会合報告(22)

●**分　野**：「閉じ込めデータベースとモデリング」[1]，「輸送物理」[2]，「MHD」[3]，「周辺およびペデスタルの物理」[4]，「定常運転」[5]

●**開催日**：2008年 4 月22日～25日[1,2]，2 月25日～29日[3]，4 月30日～ 5 月 2 日[4]，4 月14日～ 4 月17日[5]

●**場　所**：オークリッジ国立研究所（米国，オークリッジ)[1~2]，日本原子力研究開発機構（日本，那珂），ジェネラルアトミックス社(米国，サンディエゴ)[4]，マサチューセッツ工科大学（米国，ケンブリッジ)[5]

●**担当委員**：竹永秀信（原子力機構)[1]，小川雄一（東大)[1]，滝塚知典（原子力機構)[1]，矢木雅敏（九大)[1]，山田弘司（核融合研)[1]，坂本宜照（原子力機構)[2]，東井和夫（核融合研)[2]，福田武司（阪大)[2]，福山淳（京大)[2,5]，藤田隆明（原子力機構)[2]，篠原孝司[3]，諫山明彦[3]，小野靖[3]，中島洋輔[3]，飯尾俊二[3]，居田克巳（核融合研)[4]，浦野創（原子力機構)[4]，大山直幸(原子力機構)[4]，鎌田裕(原子力機構)[4]，大藪修義（核融合研)[4]，杉原正芳（ITER 国際チーム)[4]，中嶋洋輔（筑波大)[4]，井手俊介（原子力機構)[5]，及川聡洋（ITER 国際チーム)[5]，鈴木隆博(原子力機構)[5]，高瀬雄一（東大)[5]，中村幸男（核融合研)[5]，花田和明（九大)[5]（下線は会合出席者を，1から5の上付き数字はグループとの対応を示す）

2008年の春季に，ITPA に関する上記 5 つの会合が開催された．「閉じ込めデータベースとモデリング」と「輸送物理」の 2 会合は，オークリッジ国立研究所でおこなわれ，グループ間の合同会合も多数開かれた．「MHD」の会合は日本原子力研究開発機構の那珂核融合研究所で開催され，日本側参加者は30名を超えた．「周辺およびペデスタルの物理」の会合は，サンディエゴのジェネラルアトミックス社で行われた．「定常運転」の会合は，ケンブリッジのマサチューセッツ工科大学で行われた．

次回会合は，「輸送物理」「閉じ込めデータベースとモデリング」と「周辺およびペデスタルの物理」が合同でイタリアのミラノにて，「MHD」と「定常運転」が合同でスイスのローザンヌにて，いずれも2008年10月20－22日に開催される予定である．

1．「閉じ込めデータベースとモデリング」および「輸送物理」

本会合（第14回）は，「閉じ込めデータベースとモデリング」および「輸送物理」トピカル物理グループの合同会合として開催された．会合には，28名（米国：13名，欧州：9 名，日本：3 名，ITER：3 名）が出席した．主に ITER 研究計画における輸送関係の課題や国際装置間比較実験の進展と今後の予定について議論するとともに，閉じ込めへの粒子種依存性，ITER プラズマモデリング，プラズマ回転と運動量輸送，等についてセッションを設けて議論を行った．

ITER の軽水素実験フェーズでは加熱パワーが少なく，H モードプラズマを得ることが難しいとされるため，軽水素プラズマよりも L-H 遷移閾パワーが小さいヘリウムプラズマで H モード研究を行うことが ITER 研究計画において検討されている．これまでの各装置における L-H 遷移しきいパワーや閉じ込め特性のイオン種依存性について議論が行われた．ヘリウムプラズマの L-H 遷移閾パワーは，重水素プラズマの～1.4 倍，軽水素プラズマの 0.75 倍と報告された．一方，ヘリウムプラズマの閉じ込め性能については，軽水素と同レベルで，重水素の 0.7 倍程度であると報告された．今後，各装置で L-H 遷移閾パワーのイオン種依存性，密度依存性，トルク入力の影響等を詳細に調べる実験を行い，データベースを拡充することになった．

国際装置間比較実験のセッションでは，進展状況と今後の予定について議論が行われた．「自発的トロイダル回転」では，TEXTOR の ICRH 入射実験や Alcator C-Mod の LH 入射実験において，プラズマ電流と逆方向のCTR回転が生成されるとの報告があった．これらは，これまでデータ

1．ITER のブランケット試験用モジュールの実規模第一壁モックアップの製作と熱負荷除熱性能の実証に成功

増殖ブランケットは，核融合炉の最重要機器のひとつで，炉心プラズマで発生する中性子を用いて，熱の取り出しや燃料となるトリチウムの増殖を行う．ITER の重要なミッションのひとつとして，核融合炉の実用化をめざした増殖ブランケットの試験用モジュール（**図 1**）を ITER に取り付けて，ITER の核融合燃焼環境で性能試験を実施することが計画されている．この試験用モジュールは，ITER 参加各極が，それぞれの責任で持ち込み，試験をすることになっており，日本を含めた参加極で試験用モジュールの開発が進められている．

この試験用モジュールの開発では，第一壁（プラズマに直面する部分）の製作技術の実証が，最重要課題のひとつになっている．第一壁は，プラズマが発する熱や中性子に耐える構造とする必要があるため，①中性子の環境に耐え得る低放射化フェライト鋼の採用，②高い除熱性能を有するべく冷却管を内蔵，さらに③表面をプラズマ粒子から保護するため，ベリリウムの保護材を接合する構造，を組み合わせる必要があった．これを実現するためには，低放射化フェライト鋼製の長い板（2.5 m 以上）と冷却管を，曲げ加工をした状態で組み立てて接合し，一体化する必要がある．しかし，従来の溶融型の接合手法を適用するだけでは，この製作が困難であり，その製作手法の確立が課題となっていた．

このたび，原子力機構は，長年の ITER 工学設計活動で得た知見に基づき，従来の溶融型手法とは異なる，拡散接合の一種である熱間等方圧加圧接合（HIP）法を，世界で初めて低放射化フェライト鋼製の実規模の第一壁の製作に適用し，実規模サイズ（長さ 1.5 m×高さ 0.6 m×幅 0.16 m）のブランケット試験用モジュールの第一壁モックアップの製作に成功した（**図 2**）．この過程では，HIP 法の熱処理工程の改良に加えて，構成部品の加工精度の向上と HIP 工程中の変形防止方法の工夫をすることにより，その製作に成功した．

さらに，ITER での運転条件と同じ 280℃，15 MPa の高温高圧水で試験モジュールを冷却しつつ，ITER 実機の最高熱負荷条件（0.5 MW/m^2）での熱負荷試験にも成功した（**図 3**）．これにより，実機と同じサイズかつ同じ熱負荷条件での第一壁の除熱性能を実証した．

今回の成果は，ITER 試験用ブランケットの国際的な技術開発競争において，我が国の技術的優位性と主導的立場を一層強固にするものである．

2．ITER 企業説明会および ITER 機構職員募集説明会の開催

ITER 計画への一層の理解増進を目的に，ITER 計画に関連する日本企業を対象として，平成19年 6 月から ITER 企

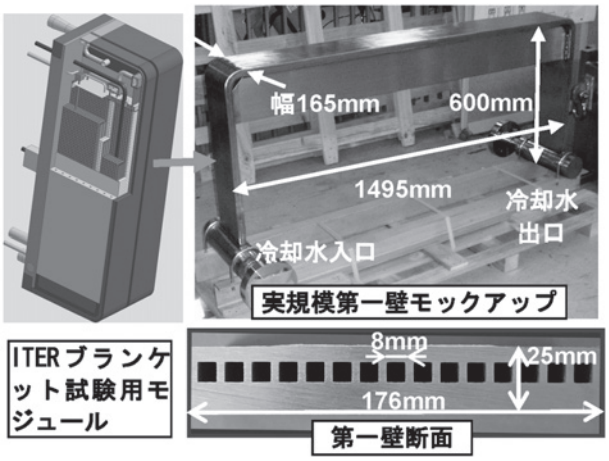


図 2　製作に成功した ITER ブランケット試験用実規模第一壁モックアップ．

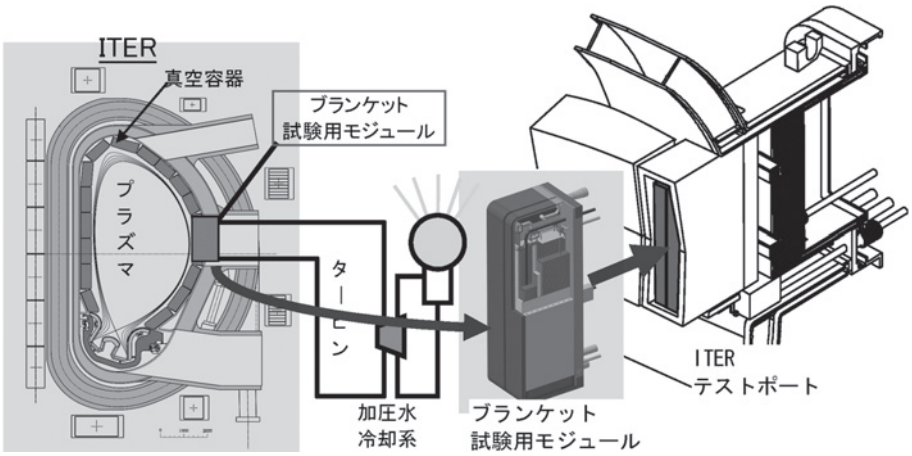


図 1　ITER のブランケットモジュール試験の概念．

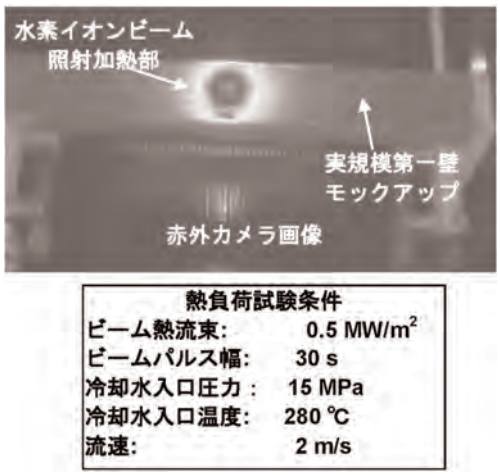


図３　実機条件の熱負荷試験中の実規模第一壁モックアップ．

図４　第８回 ITER 企業説明会の様子（平成20年７月17日，於東京新橋）．

業説明会を行っている．本年８月末現在東京都内各所で，計８回の説明会を行い，⑴日本が調達を分担する ITER 機器の製作準備状況や今後の予定，⑵ITER 機構が直接契約する業務外部委託等の説明に加え，⑶ブローダー・アプローチ（BA）計画での３つの事業（サテライト・トカマク事業，IFMIF-EVIDA 事業，IFERC 事業）の進捗についての説明を実施している．

また，平成20年７月より，ITER 機構の職員募集に関する説明会を開始した．本年８月末現在東京，大阪，仙台，福岡，福井，名古屋，東海村において計８回の説明会を行い，ITER 機構の組織，人員構成，職員募集の状況，面接試験への対応などについて説明を実施している．

また，本年５月から，ITER 機構職員公募に関する情報提供のための登録制度を構築し，その運用を開始した．登録された方には，ITER 機構の職員公募に関する情報や説明会の開催情報，ITER Newsline を送付し，ITER 機構職員への応募に役立つ情報の提供を行っている．この制度への登録方法については下記のウェブサイトをご参照願います．

http://www.naka.jaea.go.jp/ITER/recruit/boshu_midashi1_information_system.html

今後もITER計画とBA計画の一層の理解増進のため，これらの説明会を国内各所で開催する予定であり，プラズマ・核融合学会員の皆様には，是非ご参加いただければ幸いです．

（日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門）

ITER だより(12)

ニオブチタン超伝導導体で大電流化への課題を解決

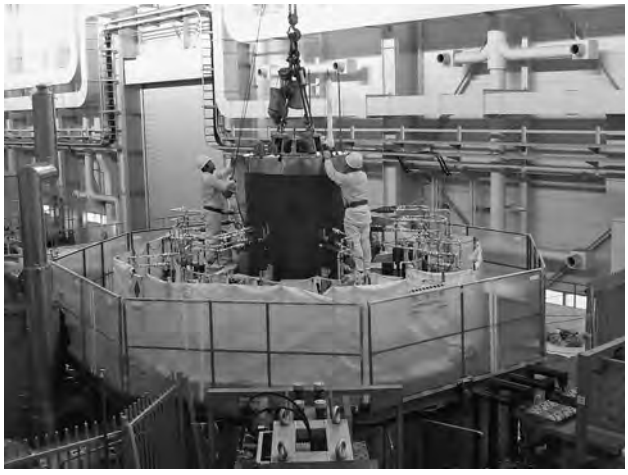
－52 kA の通電試験に成功し ITER ポロイダル磁場コイルに重要な技術を実証－

ITER 計画の一環として，ITER ポロイダル磁場コイル（PF コイル）として採用予定のニオブチタン超伝導導体を用いた試験コイルを，日本原子力研究開発機構那珂核融合研究所の装置で試験した．試験は原子力機構，欧州および ITER 機構の専門家で構成されたチームにより実施され，米国の研究者とポロイダル磁場コイルの調達を担当するロシアの研究者も参加した．試験の結果，PF コイル用導体で必要な性能である磁場 6.4 テスラ，温度 4.5 ケルビンにおいて52kA の大電流通電に成功した．PF コイルでは導体の電流値を従来実績（約 30 kA）の約 1.7 倍にする必要があった．今回の試験結果は，その要求性能を満足するものであり，これにより ITER･PF コイルの製作に必要な技術を確立することができた．

大電流を安定して通電させるためには，1,440本の超伝導線同士の接触抵抗を小さくして各超伝導線に均一の電流を流すことが重要である．一方，変動磁場による導体での発熱（交流損失）を低減するため，接触抵抗を大きくする必要があった．この相反する技術要求を実現することが重要な課題となっていたが，超伝導線の表面に被覆を施して接触抵抗を適切なものにすることができるという原子力機構の知見に基づき，今回のニオブチタン導体は，厚さ 2 μm（マイクロメートル）のニッケルメッキを超伝導線の表面に施す手法を採用することでこの問題を解決した．

これにより導体設計の妥当性が示され，製作技術も実証された．この成果に基づき，ITER 機構が ITER･PF コイルの技術仕様を確定し，PF コイルの調達を分担している欧州，ロシア，および中国が導体の調達を開始することとなる．

（日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門）



那珂核融合研究所の試験装置への試験コイルの据付

那珂核融合研究所での試験風景

ITER だより(13)

1．第3回ITER理事会開催ーITER機器の調達進むー

11月19－20日にカダラッシュにおいて第3回ITER理事会が開催された．会合に先立ちITER参加極の代表団はITER建設サイトを訪問し，職員数の増加に伴い新たに建設した3階建の仮オフィスビルの竣工を祝った．CEAカダラッシュ研究所敷地内に置かれていたITER機構本部は新しいビルに移設され，2011年の正式な建屋の完成を待つ．またITERサイトの整地作業も75%進んだ．

ITER機構発足から1年が経過し，ITER機構とITER参加極の国内機関との間でITER機器の調達取決めの締結が進んでいる．ITER理事会初日にも，日本が調達するトロイダル磁場（TF）コイル巻線並びにTFコイル構造物を含む合計5件の調達取決め署名式が行われた．

また，ITER機構の担当者および当該機器の調達の責任を負う国内機関の専門家等で構成される「統合製造チーム」を設置し，機器設計の完了，インターフェース統合，調達取決めの実施，製造における企業への指導を行うことが合

整地作業が進むITERサイト*

ITER参加極の代表団

ITER 理事会風景*

（*写真は ITER 機構の提供）

意され，真空容器，ブランケット，電源の三つの機器について，早速作業を開始することとなった．

さらに，ITER でテストブランケット・モジュール（TBM）計画を実施し，TBM 計画委員会を設置することが決定された．ITER には 6 個の TBM が設置可能であり，日本からは固体増殖水冷却の TBM を持ち込み，実験を行う予定である．計画の実施要領の詳細は今後 TBM 計画委員会で検討される．

今回の ITER 理事会で，現理事会議長のクリス・ルウェリン＝スミス卿，同副議長のエブゲニィ・ベリコフ学士院会員，科学技術諮問委員会議長のプレディマン・カウ博士，同副議長のヤンシ・ワン博士，運営諮問委員会議長のロバート・アイオッティ博士，同副議長のギュンス・リー博士を，2009年末までの任期として再任した．

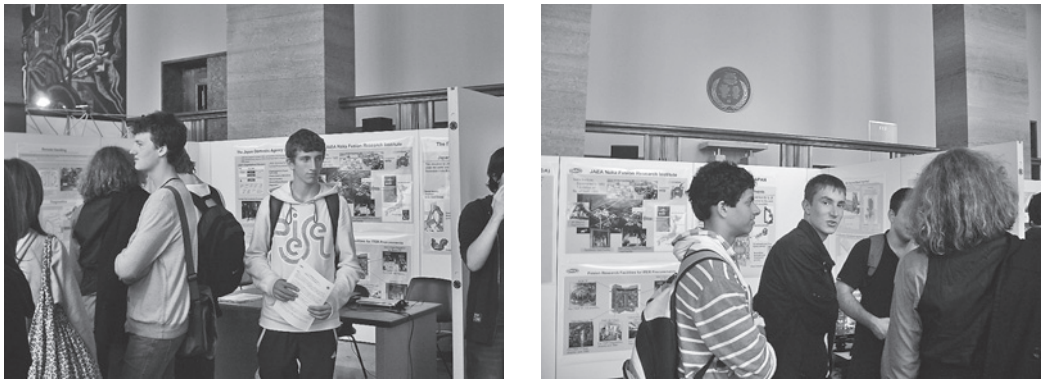
次回 ITER 理事会は2009年 6 月17－18日に日本で開催する予定である．

2．第22回 IAEA 国際核融合エネルギー会議において原子力機構のブースを出展（JADA の活動紹介）

10月13日より19日までスイスのジュネーブで開催された標記の会議会場にて原子力機構のブースを出展し，日本の ITER 極内機関（JADA）としての活動を紹介した．これは，ITER 機構の呼びかけで ITER 機構および各極内機関の活動を紹介することを目的としてブースを出展したものであり，ITER 機構，日本の他，欧州，米国，ロシア，韓国，インドの各極内機関が出展した．

原子力機構のブースでは，パネルによる調達機器および那珂核融合研究所の試験施設の説明を行うとともに，遠隔保守手順や本体組立手順のビデオを上映した．期間中，200名以上の核融合研究者がブースを訪れ，ポスターやビデオを興味深く見るとともに，説明者である原子力機構の研究者との間で活発な議論が交わされ，訪問者の理解が一層深まったものと思われる．

（日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門）



第22回 IAEA 国際核融合エネルギー会議に出展した原子力機構のブースの様子

1．ITER 超伝導導体製作工場の建設に着工 ーTF コイル導体の製作で進展ー

原子力機構は平成19年11月28日に，ITER 機構と ITER 計画で最初の調達取決めとなる「TF コイル導体調達取決め」に署名した．この調達取決めでは，原子力機構は TF コイル用導体の25%分の調達を分担する(**図 1**)．この調達取決めに基づき，平成20年 3 月には，TF コイル導体の Nb_3Sn 素線，超伝導撚線および導体の製作に関するそれぞれの契約をメーカー(素線 2 社，撚線 1 社，導体製作 1 社)と結び，調達を開始した．

超伝導撚線とジャケットを一体化する作業である「ジャケティング」を実施する導体製作では，本年度は製作治具の設計および製作を行うとともに，これらを収納するための総延長距離が約 1 km にわたる新工場(導体製作工場)の建設準備を行ってきた．平成21年 1 月15日には，導体製作の契約メーカーである新日鉄エンジニアリングの若松工場において，導体製作工場の安全祈願祭および起工式が執り行われ(**図 2**，**3**)，導体製作開始に向けて一歩踏み出した．新工場は本年10月に完成予定で，模擬導体を始めとして TF コイル用導体33本（総延長約 23 km）を製作する．

2．ITER機構職員公募の説明会の新展開ー米国での開催と産総研との連携ー

原子力機構は，政府からの国内機関の指名を受け，国際機関である ITER 機構への我が国からの職員の派遣に関する支援活動を行っている．その一環として，これまで国内各所およびフランスで ITER 機構職員公募の説明会を行っている．このたび，ITER 機構職員公募の一層の周知を図るために，米国での説明会を行うとともに，産総研と連携し説明会を開催した．

平成21年 2 月 4 日－ 5 日，原子力機構ワシントン事務所と連携し，在米邦人を対象に，ITER 機構の職員公募に関する説明会を，初めて米国(ワシントン DC，サンノゼ)で開催した（**図 4**）．この開催にあたり，在米邦人向け HP

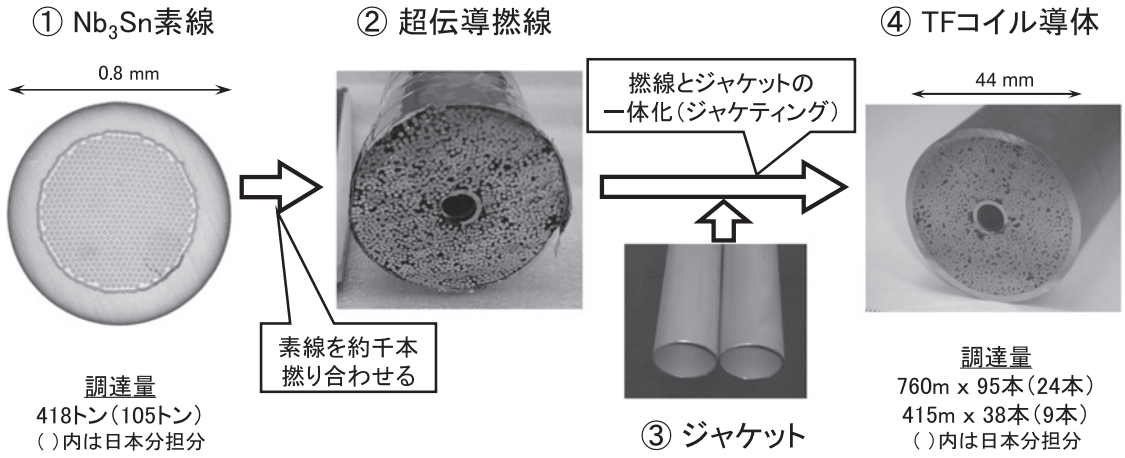


図 1　TF コイル導体の製作手順．

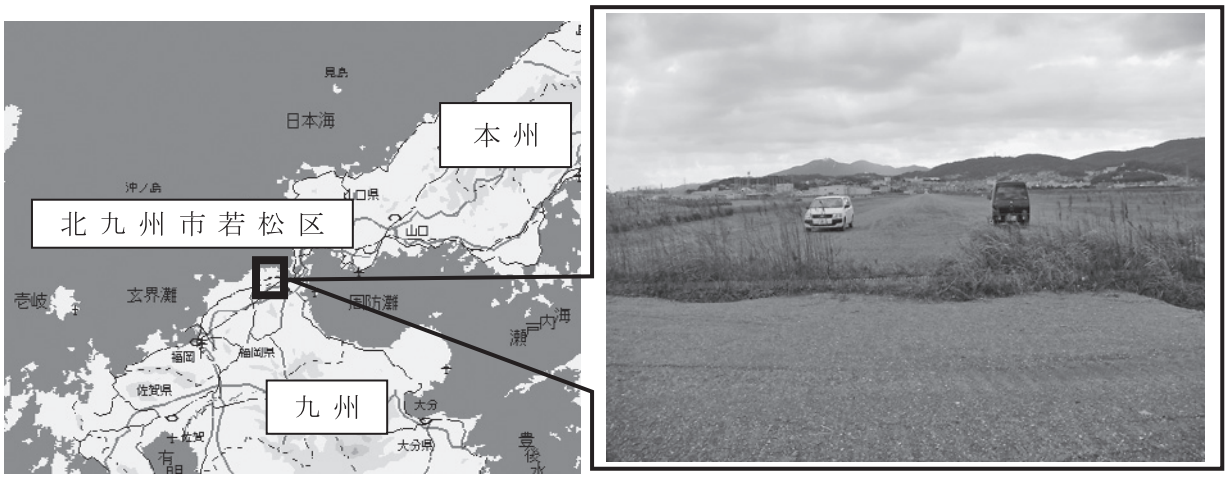


図 2　導体製作工場の予定地（左）と北側からの眺望（右）．工場は南北方向に約 1 km の長さとなる．

図３　神職をお迎えしての導体製作工場（新日鉄エンジニアリング若松工場）の安全祈願祭および起工式（平成21年１月15日）．

図４　米国サンノゼで開催されたITER機構職員募集説明会（平成21年２月５日）．

や広報誌への情報掲載，日本学術振興会の協力を得てサンフランシスコで開催された日本の大学関係者向けの会合にて原子力機構のブースを出展するなど，在米邦人向けに事前の広報を行っている．説明会の結果，参加者のうちの半分以上の方にITER機構職員募集登録（公募情報の提供依頼）を行なっていただける等，在米邦人のITER機構職員募集への関心の高さが伺われた．

図５　産総研（つくば市）で開催されたITER機構職員募集説明会（平成21年２月６日）．

さらに同年２月６日，産業技術総合研究所（産総研）能力開発部門人材開発企画室（産総研キャリアパス事業※）の主催により，産総研つくば本部においてITER機構職員募集説明会を開催した（**図５**）．説明会では，ITER計画の状況やITER計画における日本の貢献，ITER機構の職員公募の状況，面接試験について原子力機構から説明した．説明会には12名が参加し，産総研以外のつくば地区の研究機関や企業からの参加もあった．

詳細は那珂核融合研究所のHP（http://www.naka.jaea.go.jp/ITER/iter/index.html）をご参照願います．

※産総研キャリアパス事業ホームページ（Dr's イノベーション）
http://unit.aist.go.jp/humanres/ci/phd-career/index.html

（日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門）

日本製 ITER ダイバータ評価試験体が，ITER の定める評価試験に合格：世界に先駆けてエフレモフ研での高熱負荷試験で耐久性を実証

原子力機構は，ITER ダイバータを構成する高熱負荷機器の一つである外側ターゲット（**図 1** 参照）を調達する準備を進めている．ITER ダイバータの調達を行うには，調達開始前に調達を実施する参加極（日，欧，露）が試験体を製作し，ITER 機構が実施する評価試験に合格する必要がある．この評価試験に合格した後に，次のステップであるプロトタイプの製作や実機ダイバータの調達を開始することができる．このため，日，欧，露のダイバータ調達を分担する極は，高熱負荷機器の技術的課題を網羅した中型のダイバータ試験体(ダイバータ評価試験体)を製作し，ロシア・サンクトペテルブルクにあるエフレモフ研究所に送り，同研究所の電子ビーム加熱試験装置を用いて，同一条件で高熱負荷試験を実施した．

その結果，原子力機構が開発した評価試験体(**図 2** 参照)は，試験中に耐熱性能の劣化は見られず，ITER ダイバータの要求条件（炭素繊維複合材部分：10 MW/m^2×1000 回＋20 MW/m^2×1000 回，タングステン部分：3 MW/m^2×1000 回＋5 MW/m^2×1000 回)を満たすことを実証し，他の調達参加極に先駆けて評価試験に合格した．

この結果を受け原子力機構は，平成21年度より ITER ダイバータ外側ターゲットのプロトタイプの製作に着手する予定である．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

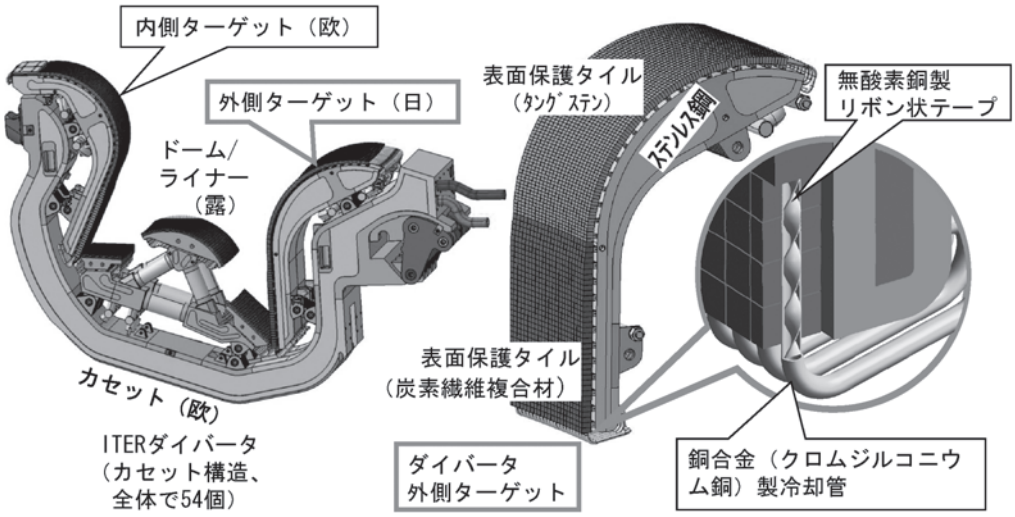


図 1　ITER ダイバータと日本が調達を実施する外側ターゲットの構造

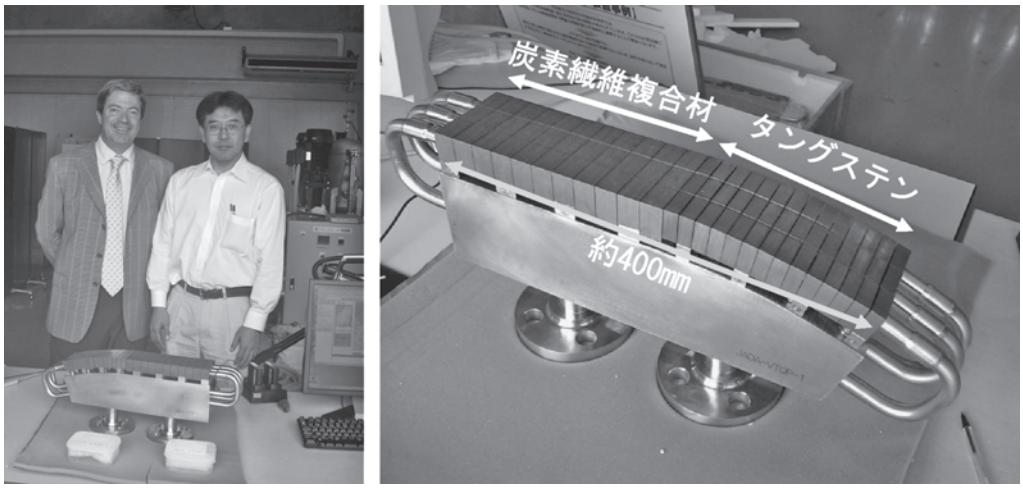


図 2　完成したダイバータ評価試験体
（左の写真は ITER 機構担当者と原子力機構担当者の立会いの下で行われた評価試験体の検認作業時のもの．）

1．第4回 ITER 理事会開催ーITER 建設完了に向けたアプローチの承認ー

2009年 6 月17-18日，水戸市において第 4 回ITER 理事会が開催された．初日の冒頭，橋本茨城県知事は歓迎の挨拶の中で，「我々は，エネルギーの安定な供給方法を見出し，地球温暖化に歯止めをかける積極的な役割を担わなければならない．核融合は永続的な可能性を秘めたエネルギー源であり，環境への影響もほとんどないので，我々はそれに大いなる希望と期待を寄せている．ITER 計画の成功を切に願う.」と，ITER 計画の重要性を強調した．

池田ITER機構長は，ITERサイトの整地の完成を含む前回 ITER 理事会（2008年11月）からの事業の進捗を報告し，「我々は地球規模の協力の新しいモデルを構築しており，世界が我々の進捗を見守っている．我々は ITER の次の段階への発展を加速するために集まった．第 4 回 ITER 理事会会合が，核融合が安全で無尽蔵なエネルギー源であることを実証する途上にある記念すべきイベントであることを，私は希望し，確信している.」と述べた．

ITER 理事会は，ITER 計画基準文書の完成のための作業の基準として，ITER 建設の完了に向けた段階的なアプローチを承認した．このアプローチでは計画の全体的なリスクを大幅に低減させるために，真空容器の内側に設置する機器を取り付ける前に，ITER 本体の主要機器の組立と試験を一緒に行う．ITER 機構はこれにより2018年末までに最初のプラズマ発生を行い，2026年に DT 運転を開始するとの目標期日を設定し，ITER 理事会はこれを支持した．

ITER 理事会は，関連する諮問委員会および作業グループからの報告を検討し，ITER 計画の着実な進展を確認した．また，ITER 協定に従い 2 年毎に実施する運営評価のために，運営評価人を任命し，運営評価調整委員会を設置した．

次回 ITER 理事会は2009年11月18－19日にカダラッシュで開催する予定である．

ITER 参加極の代表団

ITER 理事会風景

2．ITERダイバータ外側垂直ターゲットの調達取り決めに調印ーダイバータの調達が正式に開始ー

原子力機構は，第 4 回 ITER 理事会の会場において，ダイバータを構成する高熱負荷機器の一つであるダイバータ外側垂直ターゲット（以下，外側ターゲットという.）の調達取り決めを ITER 機構と締結した．今後，ダイバータの調達が正式に開始される．

ダイバータ評価試験体がロシアでの評価試験に合格したことを受け，原子力機構と ITER 機構では外側ターゲットの調達取り決めの策定作業を共同して実施してきたが，このたび，調達取り決めが両者の間で取りまとめられ，調印の運びとなった．原子力機構では，外側ターゲット調達の最初のステップとして，平成21年度より，外側ターゲット実規模プロトタイプの製作および試験に着手する．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図1　ダイバータ調達取決めに調印し，握手を交わす
池田 ITER 機構長（右）と長岡原子力機構国際部長（左）

ITER だより(17)

ITER 建設サイトの整備が終了

2007年1月末からITER建設サイトの整備が行われ，2009年3月に終了しました．この記念セレモニーが5月27日に整地されたITER建設サイトにて行われました．

ITERの建設サイトは180ha（約54万坪）あり，これは東京ドーム約38.5個分に相当します．また，土地の整備により運び出された土の量は250万立方メートルで，東京ドーム約2杯分の体積となります．また，このサイト整備作業では，環境への影響を最小にするよう措置がとられ，ITER建設サイトの約半分は森として保存されています．

ITER 職員募集説明会，企業説明会の実施

原子力機構は，これまで国内各所，フランス，アメリカなどでITER機構職員公募の説明会を行ってきました．

このたびITER機構から多田プロジェクトオフィス長をお招きし，ITER機構の活動と，ITER機構に求められる人材像について講演をしていただきました（第27回ITER機構職員公募説明会，於東京新橋）．ITER機構における仕事の実際，仕事を行っていく上での必要な能力，求められる姿勢などを多田オフィス長から直接聞くことができ，参加者にとって非常に有意義な講演会でした．

また7月16日には，19団体から26名の参加者を迎えて，東京新橋において第12回ITER企業説明会を原産協会の協力を得て開催しました．文部科学省山本核融合科学専門官よりITER計画に関する最近の状況について説明頂くとともに，日本国内機関での調達状況，知的財産管理規則の準備について説明がなされ，活発な意見交換が行われました．

原子力機構ではITER機構職員公募説明会およびITER企業説明会を開催しております．今後の開催スケジュールや，これまでの開催状況などに関してはITERウェブサイト（http://naka-www.jaea.go.jp）の「職員募集説明会について」，「企業説明会の開催について」をそれぞれご覧ください．

（日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門）

写真1　ITER建設サイトにおける記念行事（写真提供　ITER機構）

写真2　整地が終了したITER建設サイト（5月27日撮影）

写真3　第27回ITER職員募集説明会

写真4　第12回ITER企業説明会

1．第２回核融合／原子力国際ビジネスフォーラムにおける，ITER 調達の講演と ITER 展示ブースの出展

このたび，札幌市（札幌コンベンションセンター，平成21年９月７日－９日）にて開催された第２回核融合／原子力国際ビジネスフォーラムに，ITER 展示ブースを出展するとともに，ITER 機器の日本国内における調達の進展について報告を行いました．

講演では，ITER 計画とその調達計画の概要を報告するとともに，日本が調達するITER機器である超伝導コイル，遠隔保守ロボット，高周波加熱システム，中性ビーム加熱装置の調達の現状を報告いたしました．ITER 機器の調達の現状に関して，活発な質疑応答がなされました．

また，同会場に併設された展示ブースにおいて，ITER・BA 計画の出展を行うとともに，ITER機構職員公募の説明を実施いたしました．ITER 装置の模型や実物のダイバーター試験サンプルに注目が集まりました．ITER 機構職員公募の説明には計25名の方が訪れ，多くの質問が寄せられました．その詳細につきましてはITER ウェブサイト（http://naka-www.jaea.go.jp）の「職員募集説明会について」をご覧ください．

図１　第２回核融合／原子力国際ビジネスフォーラムでの ITER 調達関連講演の様子．

図２　核融合／原子力国際ビジネスフォーラム会場（札幌市）の展示エリアの様子．

2．日本機械学会2009年次大会への ITER 展示ブースの出展と日本原子力学会2009年秋の大会での ITER 機構職員募集の説明会実施

日本機械学会2009年次大会（岩手大学，９月13日－16日）にITER計画の展示ブースを出展するとともに，ITER機構職員募集および登録の案内を行いました．また，日本原子力学会2009年秋の大会（東北大学，９月16－17日）の展示エリアにおいて，資料を配布し，ITER 機構職員募集の説明を実施しました．これらの詳細につきましてはITER ウェブサイト（http://naka-www.jaea.go.jp）の「職員募集説明会について」をご覧ください．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図３　日本機械学会2009年次大会（盛岡市）の展示エリアの様子．

図４　原子力学会2009年秋の大会（仙台市）の展示エリアの様子．

1．第5回 ITER 理事会開催 ーITER 建設スケジュールの詳細議論進むー

2009年11月18－19日，仏カダラッシュにおいて第5回 ITER 理事会が開催された．初日は，フランスのヴァレリー・ペクレス高等教育・研究大臣およびピエール・ルルーシュ欧州担当大臣からのメッセージ（ベルナール・ビゴ仏原子力庁長官代読）で始まり，その中で「今後数十年間のうちに核融合エネルギーの制御方法の実証に成功すれば，この惑星の機能を尊重しつつ，地上に住む我々全ての状況を良い方向に導き，新しい世代に，大量かつ無限のエネルギーによる恩恵をもたらすだろう．このように，気候変動のリスクを緩和し，我々の環境の質を維持する方法を決めるコペンハーゲンサミットの準備を行っているこの時期にあって，地上に住む全ての人々にとって，その成果は明らかに必要不可欠である.」と，ITER 計画の重要性を強調した．

ITER 理事会は，技術およびコストのリスクを考慮しつつ，全ての加盟極に受入れ可能な現実的なスケジュールを確立するため，スケジュールについて更なる議論を行った．これに従い，前回 ITER 理事会で承認された作業ベースのスケジュールを基にして，現在実施されているリスク緩和手法を取り入れ，また各国内機関が現実的に達成可能と評価するスケジュールを反映して，2010年2月末までに最速の初プラズマ達成期日を決定するよう ITER 機構に要請した．議論を通じて，全ての加盟極は，現実的かつできるだけ早期に重水素／三重水素の運転を達成することが最も重要であることに合意した．

ITER 理事会は，テストブランケットモジュール計画，研究協力，知的財産管理，輸出管理，ITER 技術の平和的利用および不拡散，原子力損害賠償などの課題に関する進捗についての理事会補助機関および専門家会合からの報告をレビューした．

ITER 理事会は，ロシア連邦のエフゲニー・ベリホフ（クルチャトフ研究所総裁）を理事会の次期議長に選出し，また中国のワン・ユァンシー（中国科学院合肥物質科学研究院等離子体物理研究所）および韓国のイ・ギュンス（国立核融合研究所所長）をそれぞれ科学技術諮問委員会および運営諮問委員会の次期議長に任命した．池田要 ITER 機構長は，ITER 機構を代表して，任期を終える議長等の貢献に深く感謝の意を表した．

ITER 理事会風景（ITER 機構提供）．

ITER 参加極の代表団（ITER 機構提供）．

2．世界初のエネルギー回収ジャイロトロンが「国立科学博物館重要科学技術史資料」へ登録される

国際熱核融合実験炉 ITER の工学設計活動（EDA）期にプラズマの EC 加熱用として開発されたエネルギー回収型大電力ジャイロトロン（1994年）が，我が国の科学技術の発展を示す上で貴重な資料となる，「国立科学博物館重要科学技術資料（愛称：未来技術遺産）」に登録され，国立科学博物館において2009年10月にその認証式が行われました．
(http://www.kahaku.go.jp/procedure/press/pdf/21462.pdf)

この制度は，国立科学博物館により「科学技術の発達史上重要な成果を示し，次世代に継承していく上で重要な意義を持つ科学技術史資料」の保存と活用を図るために2008年から始められたものですが，電子管分野では「分割陽極マグネトロン（1927年）」に続き2例目となります．

この「エネルギー回収型大電力ジャイロトロン」は，当時開発が困難であった 100 GHz 帯マイクロ波において，出力 600 kW，投入した直流電力からマイクロ波への変換効率50%という驚異的なデータを世界に示した記念すべき電子管です．この開発成功を契機として，ITER でも EC 加熱はプラズマの主加熱候補として認識され，世界的に ITER 用ジャイロトロンの開発が活性化しました．その後の ITER で必要な周波数170 GHzで出力1 MWの発振実証，連続出力化を可能にした人工ダイヤモンド窓の開発成功等を経て，2006年末に日本が世界で初めて ITER で求められる

ジャイロトロンの性能を達成しました.

なお，この「エネルギー回収型ジャイロトロン」は，プラズマ核融合学会の第 1 回技術進歩賞を受賞しています.

未来技術遺産に登録されたエネルギー回収型大電力ジャイロトロンの外観.

3．ITER 機構における博士課程修了研究者の公募について

ITER 機構では，このたびモナコ公国とのパートナーシップ協定に基づき，博士課程修了研究者を ITER 計画の参加国またはモナコ公国から公募することとし，その募集案内が ITER 機構ホームページに掲載されています.

我が国は，ITER 計画の参加国であり，我が国の国籍を有する方は，本公募に対して応募することができます．詳しくは下記のウェブサイトをご覧下さい.

http://www.iter.org/Pages/Monaco2010.aspx

（日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門）

1．ITER 中心ソレノイド（CS）導体の調達取決めを締結

原子力機構は，日本が調達責任を有する中心ソレノイド（CS）導体の製作を開始するため，12月15日に「中心ソレノイド導体の調達取決め」を締結しました（**図 1**）．

これにより，ITER の中心ソレノイドの製作に必要な全ての超伝導導体（CS モジュール 7 個分）を日本が調達します（**図 2**）．調達する CS 導体の総量は，超伝導導体計49本，総長44キロメートルに達します．

2．ITER 超伝導コイル用導体の製造が本格開始ー最先端技術の導入で高品質製造技術を世界に先駆け確立ー

原子力機構が新日鉄エンジニアリング㈱との契約で建設を進めていた，ITER 超伝導コイル用導体の製造工場（福岡県北九州市）が竣工しました（**図 3 および 4**）．この工場では超伝導撚線をジャケットと呼ばれるステンレス管に引き込み，圧縮成型することで超伝導導体を製造します．これは，日本の研究機関と産業界の協力による超伝導技術開発の重要な成果であるとともに，日本が導体製造を担当する他極に先駆けて重要な一歩を踏み出したことを世界に示すものです．

原子力機構と新日鉄エンジニアリング㈱は，厚さ 1.9 mm の薄いジャケットの変形を 0.1 mm 以下に抑える溶接技術開発，レーザーを用いて溶接による突起を 0.1 mm 以下で検出する技術などを開発し，銅線を用いた 760 m の模擬導体製造を実施することで，導体製造技術を確立しました．今後は，100 m，400 m の超伝導導体を製造することで製造技術の最終確認を行い，本年 3 月から合計33本（約 23 km 分）のトロイダル磁場コイル用導体の製造を本格的に開始する予定です．

図 1　CS 導体の調達取決め書を持つ奥野研究主席（右）と中嶋 ITER 超伝導磁石開発グループリーダー（左）．

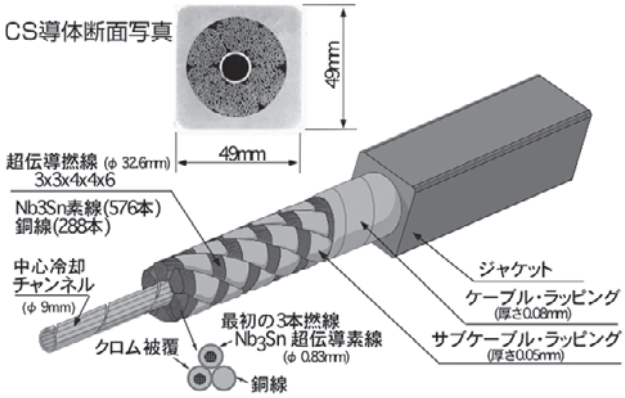


図 2　中心ソレノイド（CS）導体の構造図．

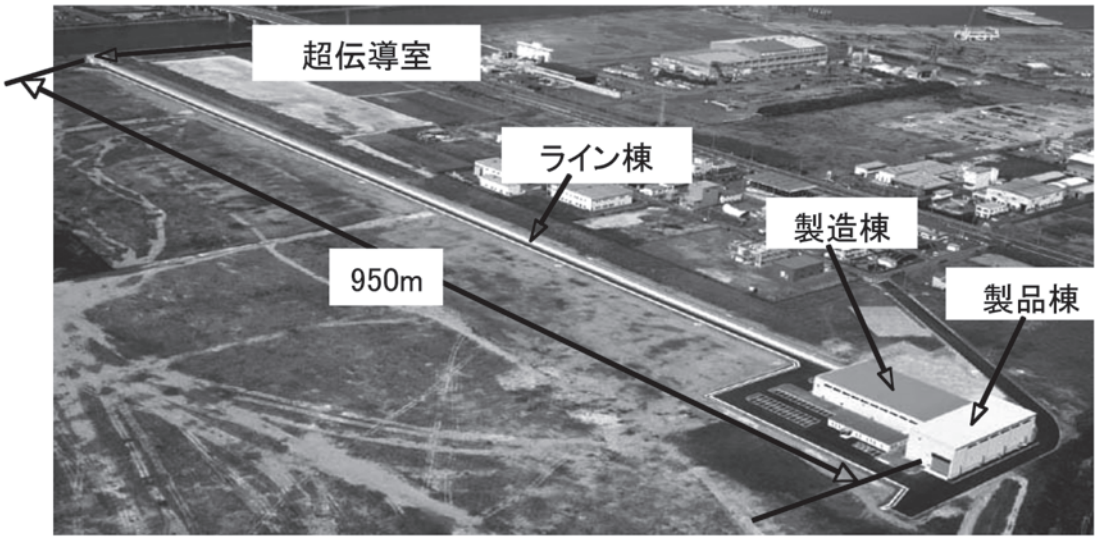


図 3　竣工した導体製造工場（福岡県北九州市）．

図４　竣工式風景（平成22年１月12日）.

３．ITER機構職員公募に関する手続き変更（Eリクルーティングの紹介）

ITER 機構職員公募への応募手続きに関しては，これまで応募者が応募書類を国内機関の窓口へ送付し，国内機関がとりまとめて ITER 機構へ送付しておりましたが，本年１月の募集から，応募者が ITER 機構のウェブ上で応募情報を入力し，履歴書（必須），カバーレター（必須ではない）を添付して，直接 ITER 機構へ送信することになりました．この新しい手続きでは，国内機関は ITER 機構のウェブ上で自極の応募情報を確認し，応募者を確定します．応募書類提出後のプロセス，すなわち，ITER 機構による書類審査を経て，面接試験を受け，採用に至るプロセスは従来どおりです．詳しくは下記のサイトを参照ください（**図５**）.

http://www.iter.org/Pages/Jobs.aspx
及び
http://naka-www.jaea.go.jp/ITER/recruit/boshu_midashi1.html

（日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門）

図５　ITER 機構職員公募（E リクルーティング）のホームページ（ITER 機構提供）.

1．イーター用超伝導コイル導体の初出荷

原子力機構が調達を担っているイーター・トロイダル磁場（TF）コイル用超伝導導体の最初の製作物（長さ 100 m と 760 m の模擬導体及び 415 m の超伝導導体）が完成しました（**図 1**）．これら 3 つの導体を，次の工程である TF コイル巻線試作に用いるため，3 月15日から19日にかけて福岡県北九州市にある導体製作工場である新日鉄エンジニアリング㈱若松 ITER 工場から，コイル巻線試作を行う神奈川県横浜市の㈱東芝京浜事業所まで輸送しました（**図 2**，**図 3**）．

760 m 長さの導体はリング状に巻いて輸送しました．この積荷は，幅 4.8 m，奥行き 4.8 m，高さ 4.3 m で，重量は 15.7 トンです．導体輸送は海上輸送により行い，3 月16日に北九州市北九州港を出港し，瀬戸内海，太平洋航路で，3 月19日に横浜市京浜港に到着しました．

2．リエゾン・オフィスをイーター機構に設置

日本の国内機関（JADA）のリエゾン・オフィスがイーター機構本部（在フランス・カダラッシュ）内に設置され，1 月18日よりリエゾンオフィサー（原子力機構 ITER 協力調整グループ上野健一研究員）が着任しました．

イーター機構にリエゾン・オフィスを設置したのは，参加極の中では日本が初めてです．イーター機構は，各極の国内機関に対し，コミュニケーションの一層の向上，問題への早期対処を目的として，リエゾンが常駐することを希望しており，その要望にいち早く対応したものです．この日本のリエゾン・オフィス開設は，イーター機構のホームページ（ITER ニュースライン）に紹介されました．

［ITER 機構が日本のリエゾン・オフィスを紹介した URL］
http://www.iter.org/newsline/Pages/119/1738.aspx

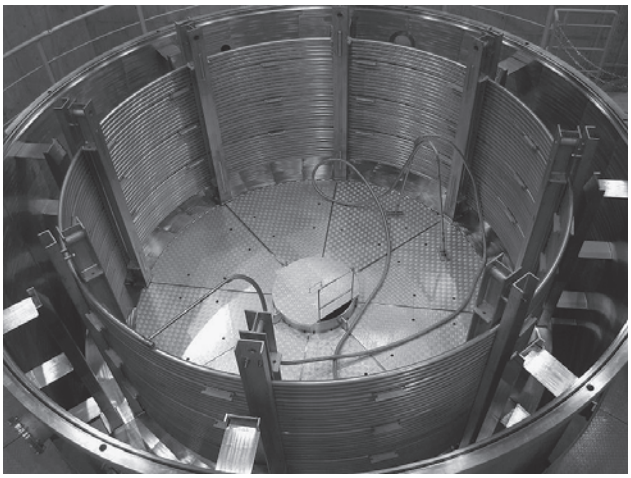


図 1　完成したイーター用超伝導コイル模擬導体（長さ 760 m）．

図 2　出荷港に向け，慎重に輸送される模擬導体（於北九州市若松区）．

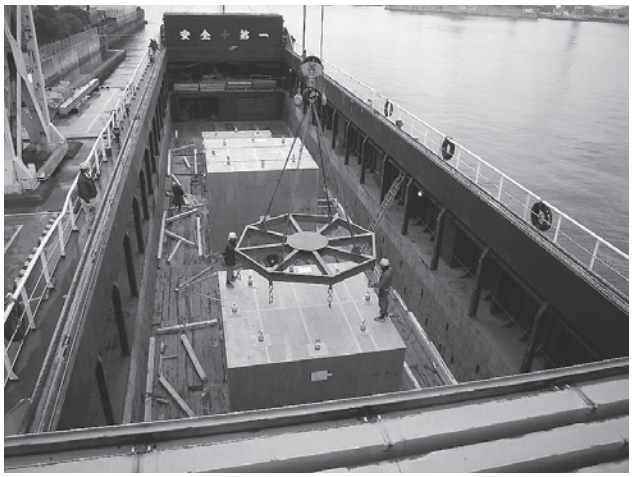


図 3　京浜港に到着した模擬導体（於横浜市鶴見区）．

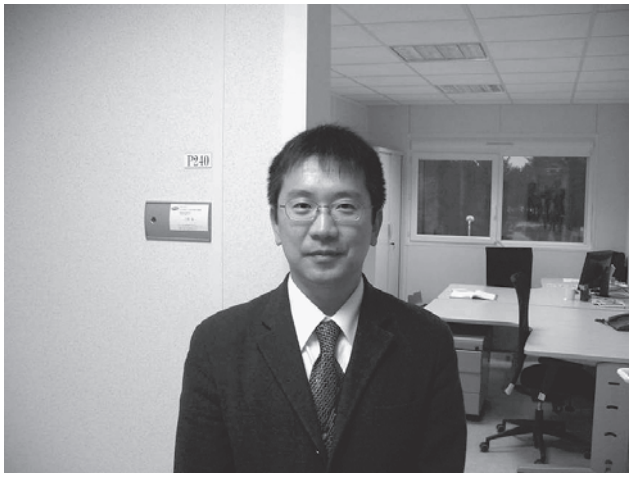


図 4　ITER 機構本部 JADA リエゾン・オフィス．

3．ドイツ・バイエルン州議会代表団が那珂核融合研究所を視察

3月18日にドイツ・バイエルン州議会の大学・研究・文化委員会代表団一行（計21名）が，原子力機構那珂研究所を訪問されました．代表団を代表し，団長であるベルント・ジブラー議員は「核融合は研究として重要であるばかりではなく，持続可能なエネルギーの安定供給の点からも，強い関心を持っている.」と視察の目的を述べられました．一行は西副部門長より概況説明を受けた後，JT-60施設，超伝導導体製作棟，高周波加熱研究施設を視察されました．

一行からは，イーター計画，幅広いアプローチ計画，日独の核融合研究協力について，熱心な質疑応答がなされました．

図5　那珂核融合研究所を視察されたドイツ・バイエルン州議会代表団．

4．　青森県エネルギーフェスタに参加

2月10日にホテル青森にて開催された青森県エネルギーフェスタにおいて，イーター計画および幅広いアプローチ計画の展示を行うとともに，イーター機構職員募集の説明会を実施しました．来訪者からは，イーター機構とはどのような組織であるのか，イーター機構職員にはどのような人が応募できるのかなど積極的な質問が寄せられました．

イーター機構の職員募集に関しては，以下をご参照ください．

原子力機構那珂研究所イーター機構職員募集の案内ページ：
http://www.naka.jaea.go.jp/ITER/recruit/boshu_midashi1.html

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

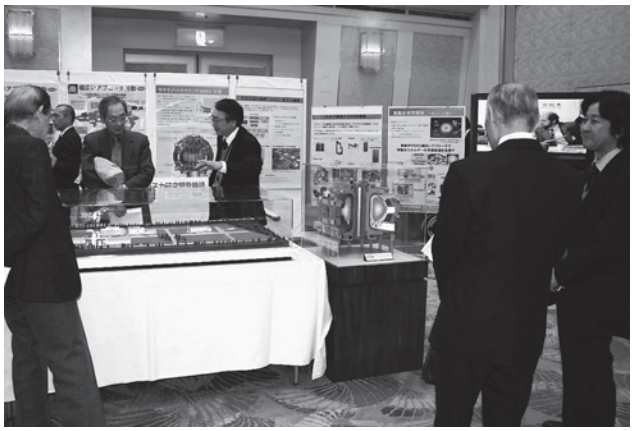


図6　青森県エネルギーフェスタでの展示の様子．

ITER だより(22)

1．中国において第 6 回 ITER 理事会を開催

6 月16～17日，ITER 機構の最高意思決定機関（運営組織）である ITER 理事会の第 6 回会合が招集されました．中国の蘇州市における 2 日間の会合には，ロシアのエフゲニー・ベリホフ議長の下，中国，欧州連合，インド，日本，韓国，ロシア，米国の 7 つの ITER 加盟極の代表が一堂に会しました（**図 1**）．

会合は中国科学技術部長である万鋼博士のステートメントから始まりました．万氏は蘇州を訪れた代表団を歓迎するとともに，ITER 事業に対する中国の確約を強調し，「中国政府はITERの重要性を高く認識し，事業の成功を保証すべく ITER 機構および他の六極と手を携える．ITER は国際的な難問を科学技術によって克服できることを，世界に証明する.」と述べました．

ITER の全参加極は事業に対する支持を再確認し，成し遂げられた進捗を評価しました．欧州代表団長のホセ・マニュエル・シルバ・ロドリゲス氏は「ITER をここまで導くにあたり，我々は多くの困難な問題に直面しなければならなかった．十分な相互理解，善意及び家族的精神により，この注目すべき事業の完全な成功を確保するという共通目的に向けた最善の方法を見つけることができることは疑いの余地がない.」と述べました．

池田要 ITER 機構長は，前回理事会会合以降の ITER 機構の進捗について詳細に報告しました．機構長は，事業が今や建設期に突入している点を強調しました．また，理事会に提出された詳細な文書の作成における参加極の国内機関と ITER 機構の間の強い協力を評価しました．機構長は，今や全ての参加極が建設のための入札に全力で取り組み，ITER 機器の製造における着実な進捗を確認し，「ITER 機構及び国内機関の多大な努力により，既に ITER の建設を進める上で必要な調達取決めの約60パーセントが締結された.」と述べました．さらに機構長は，最初の ITER 建屋の建設およびトカマク建屋の基礎工事用の掘削が2010年 7 月に開始される予定であることを述べました．

図 1　第 6 回 ITER 理事会風景．

ITER 理事会は，2011年年次作業計画案，会計検査，次年度以降の ITER 予算案，輸出規制，平和的利用および不拡散，並びにテストブランケットモジュール計画等の案件に関する進捗の概略を記載した，理事会の科学的及び運営的な補助機関からの報告に留意し，レビューを行いました．理事会は，2009年の年次会計および貸借対照表を承認しました．

ITER参加極は，全ての代表団がITER計画の次のステップの議論を完了する状況が見込まれる場合2010年 7 月の最終週に仏・カダラッシュにおいて理事会会合を開催することに合意しました．

理事会会合の開催に先立ち，全ての代表団は，「ITER・核融合展示会」の開催式典に出席しました．展示会は，ITER中国国内機関により準備され，各ITER加盟極の貢献に焦点をあてつつ，エネルギー源としての核融合の展望と課題が紹介されています．視聴覚に訴える展示，模型，ITER 機器，そして説明ポスターの組み合わせにより，刺激的かつ教育的な展示会を創り出しています．蘇州市工業団地において開催されているこの展示会には，多くの来訪者が見込まれます．

2．ITER 企業説明会の実施

原子力機構は，これまで東京を中心に国内各所で，ITER 計画に関連する企業を対象として説明会を行ってきました．6 月 9 日には，20団体から24名の参加者を迎えて，東京新橋において第15回 ITER 企業説明会を開催しました（**図 2**）．今回は，ITER 機構からマース上級職員およびフラメント調達・契約部長をお招きし，ITER 機構が直接契約する業務外部委託の入札に，より多くの日本企業が参加できるよう，「ITER 計画における調達の現況」および「ITER 機構が行う調達と契約」について説明いただきました．講演の最後には，ITER 機構のウェブサイト（http://www.iter.org）に接続して，オンライン登録の手順や今後

図 2　第15回 ITER 企業説明会の様子．

の入札情報などの紹介もいただきました．講演後には，これまで入札に参加された企業の方から多くの質問があり，活発な意見交換が行われました．

3．科学技術フェスタin京都でのITER展示と第8回核融合エネルギー連合講演会でのITER機構職員募集説明会の実施

6月5日に国立京都国際会館で開催された科学技術フェスタin京都の展示エリアにおいて，ITER模型を展示し，来訪者に資料の配布およびITER計画の説明を行うとともに，ITER機構職員募集および登録の案内を行いました（**図3**）．また，6月10－11日に高山市民文化会館で開催された第8回核融合エネルギー連合講演会の展示エリアにおいて，来訪者にITER計画などの資料を配布し，ITER機構職員募集および登録の案内を行いました（**図4**）．これらの詳細については那珂ITERウェブサイト（http://naka-www.jaea.go.jp）の「ITER機構職員募集説明会について」をご覧下さい．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図3　科学技術フェスタin京都（国立京都国際会館）での展示の様子．

図4　第8回核融合エネルギー連合講演会（高山市民文化会館）での展示の様子．

ITER だより(23)

1．臨時 ITER 理事会開催

ITER 理事会の臨時会合が７月28日カダラッシュにおいて開催されました（**図１**）．ITER 理事会には，７つの ITER 加盟極の代表とともに，国際原子力機関（IAEA）が参加しました．

会合は，フランスのペクレス高等教育・研究大臣およびロルーシェ欧州担当大臣からのメッセージで始まりました．メッセージは，「我々は実験炉建設期の開始という，この野心的な科学プログラムの達成に向けた決定的な瞬間に，実験炉建設サイトにおいて ITER 理事会を暖かく歓迎できることは，名誉であり喜びである」と強調するとともに，「ITER は，欧州及び国際パートナーが手を組むことによって達成できる事業の良い例である」と，結びました．

ITER 理事会は，ITER 機構が提示した ITER ベースライン文書を全会一致で承認しました．ITER 事業スケジュールの主なマイルストーンとして，2019年に初プラズマを達成すること，また重水素-トリチウム運転の開始を2027年とすることが確認されました．

すべての代表団は，これらの提案に払われた多大な労力に対し，ITER 機構および池田要機構長を称えました．ITER 理事会議長のエフゲニー・ベリホフ氏は，「ここで我々が行っていることは，ITER の成功だけでなく核融合の成功をも確実にすることである」と強調しました．

2005年11月から ITER 機構を率いてきた池田要氏は，ITER ベースラインの ITER 理事会による承認の際に，辞任する意向を早くから表明しており，ITER 理事会は本学会の会長である本島修教授（前核融合科学研究所長）を ITER 機構の新機構長に任命するとともに，ITER 機構の主な運営体制を承認しました．

2．第17回 ITER 企業説明会の実施

７月８，９日に茨城県東海村テクノ交流館リコッティにおいて，第17回 ITER 企業説明会が開催されました．今回は，ITER 機構 CODAC ディビジョンから３人のスタッフ（米川　出氏，Franck Di Maio 氏，Bruno Evrard 氏）を講師としてお招きし，ITER 計装制御系の標準規格を記載する PCDH（Plant Control Design Handbook）の説明，CODAC が用意しプラント系で共通に使用するソフトウエア（CODAC Core System）の説明とデモンストレーションが行われました．企業からの参加を含めて41名の参加があり，活発な議論と質疑が行われました．

本企業説明会についての詳細は，以下のページをご覧ください．

http://naka-www.jaea.go.jp/ITER/jada/index9_b_17.html

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図１　カダラッシュにて開催された臨時 ITER 理事会．

図２　東海村テクノ交流館リコッティにて開催された，第17回 ITER 企業説明会．

1．原子力機構報告会で ITER 調達の進捗を報告

10月13日に，有楽町朝日ホールにおいて第５回原子力機構報告会を開催しました．この中で二宮博正・核融合研究開発部門長による「ワールドフュージョンコラボ～夢のエネルギー実現への挑戦～」と題した講演を行い，産業界を中心とした約700人の大観衆を前に，実際の映像を多用したITER 調達の進捗状況を含め，全世界的な協力で取り組まれている核融合エネルギー実現に向けた挑戦の現状についてわかりやすく紹介しました．

原子力機構報告会（核融合部分）についての詳細は，以下のページをご覧ください．

http://www.naka.jaea.go.jp/

2．ITER 建設サイトでの建設活動が本格スタート

2010年８月からITER 建設サイトでの建設活動が本格的にスタートしました．８月４日にトカマク複合建屋ピットの掘削作業（掘削予定総体積23万立方メートル）が開始されました．またその他の建屋工事もスタートし，ブルドーザーによるPF（ポロイダル磁場コイル）建屋の敷地レベリング作業（対象面積14,000平方メートル）が行われました．

９月に入ると建設工事活動はさらに進展し，９月第４週にはPF 建屋東側よりコンクリートの打設が開始され，将来のITER 機構本部ビル（アネックスビルディング）の基礎工事においてもコンクリート打設が開始されました．

ITER 機構は，トカマク複合建屋ピットの掘削は第一段階をほぼ終了したと，10月上旬に発表しました．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図１　原子力機構報告会での報告・講演を行う二宮核融合研究開発部門長．

図２　2010年８月　トカマク複合建屋ピットの掘削工事開始（ITER 機構提供）．

図３　2010年８月　ブルドーザーによるPF 建屋レベリング作業（ITER 機構提供）．

図４　2010年９月　アネックスビルディング基礎工事（ITER 機構提供）．

図５　2010年10月　ITER 建設サイトを望む．
手前からPF 建屋，トカマク複合建屋ピット（中央右手），アネックスビルディング（奥のクレーン２基）の各作業現場．

1．第 7 回 ITER 理事会をカダラッシュにて開催

第 7 回 ITER 理事会が11月17日と18日に南仏カダラッシュに於いて開催されました（**図 1**）．ITER 理事会には，7 つの ITER 加盟極の代表とともに，国際原子力機関（IAEA）の代表が参加しました．

理事会の冒頭では，本年 9 月に逝去した常松俊秀原子力機構特別研究員（ITER 理事会副議長，運営諮問委員会（MAC）委員）に対して，これまでの ITER への大きな貢献に敬意を表し，黙祷が捧げられました．

理事会では，本島修機構長が，ITER 計画の状況報告を行い，コスト削減およびコスト抑制のための新たな方策の提案を行いました．理事会は，機構長から提示された ITER 機構の状況報告に留意し，機構長が着任以降行っている ITER 機構と国内機関を含めたコスト抑制およびコスト削減努力を高く評価し，今後も継続するよう奨励しました．理事会は，2011年の年次作業計画および2011年の予算を承認するとともに，ITER 理事会及びその補助機関の議長等の再任を認めました．

2．ITER 機構本部建屋のための定礎式典の開催

理事会と並行し，理事会委員，専門家，各国内機関長，並びに地元コミュニティの代表が招待された本部建屋建設の定礎式典が開催されました（**図 2**）．

冒頭，理事会議長であるエフゲニー・ベリホフ露学士院会員が「これは ITER の歴史上，非常に重要な瞬間であり，我々の夢が具体化した．」と挨拶しました．また本島修機構長は，「我々はカダラッシュに太陽を持ち込む準備ができました．ここカダラッシュ，ITER 機器が製造されている工場において，スケジュールに従って多くの作業が実際に進展しています．2019年終わりまでに初プラズマが達成できるように，ITER の建設を継続することが私の義務であります．」との決意を表明しました．さらに機構長は，ホスト極である欧州連合のロバート＝ジャン・スミッツ代表に対し，ITER への欧州の力強い支援に感謝の意を表しました．

3．第 1 回モナコ ITER 国際核融合会議が開催

11月23日から25日の 3 日間，第 1 回のモナコ ITER 国際核融合会議（Monaco ITER International Fusion Energy Days,MIIFED）がモナコで開催されました．この会議はモナコ公国，ITER 機構および IAEA の共同主催で，ITER 計画に対するモナコ公国の貢献を内外へアピールするとともに，ITER 計画や核融合への理解を促進し，さらに ITER 加盟極の企業が ITER 調達活動に参画する機会を増やす目的で開催されました．モナコ公国は ITER 計画を積極的に支援しており，10年間に亘り総額 5.5 百万ユーロを拠出し，この基金により ITER 機構は 2 年毎に 5 人のポストドクタルフェローを採用しています．

会議には ITER 機構関係者，7 つの ITER 加盟極（日欧米露中韓印）の政府関係者や国内機関メンバー，産業界から約300名の参加がありました．会議初日にはモナコ公国王子アルベルト 2 世も出席されました．会議では，本島 ITER 機構長による ITER 計画の現状に関するオープニングトークに続き，ITER 理事会議長のベリホフ氏，欧州委員会のストローマイヤー氏らが，世界におけるエネルギー消費の増大と環境問題に関する講演を行いました．その後，アルベルト 2 世の基調講演が行われ，核融合の実用化に強い期待を示されました（**図 3**）．さらに，「エネルギー開発と核融合エネルギーの役割に関する長期的な視点」という演題で，各加盟極からエネルギー政策と核融合開発の位置付けについて講演がありました．日本からは，坂田文部科学省顧問が講演を行いました（**図 4**）．また，会場には

図 1　カダラッシュにて開催された第 7 回 ITER 理事会．

図 2　ITER 機構本部建屋の定礎式典．

ビジネスコーナーが設けられ，各極の ITER 調達活動を紹介したポスターなどが展示され，日本国内機関の原子力機構からも出展しました（**図 5**）．次回は 3 年後にモナコで開催される予定です．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

（写真：ITER 機構提供）

図 3　会議初日に行われたモナコ公国王子アルベルト 2 世による基調講演．

図 4　坂田文部科学省顧問による講演．

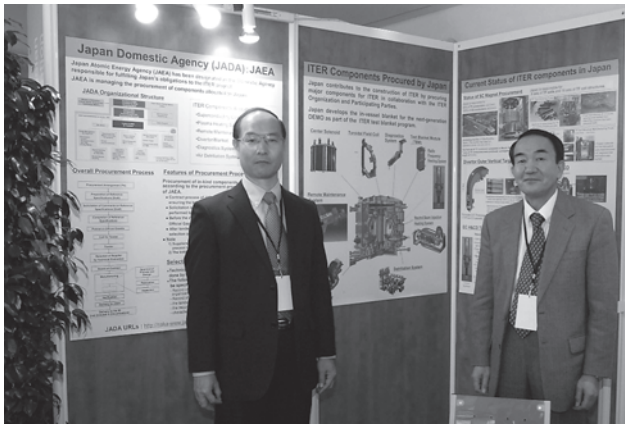


図 5　日本国内機関からの出展

1．ITER サイトでの建設活動が順調に進展

南仏にある ITER サイトでの建屋の建設は，昨年 8 月に本格的に開始されてから順調に進展し，今年 2 月半ばにはトカマク複合建屋ピット(幅 87 m，長さ 123.6 m，深さ 17 m)の掘削作業がほぼ完了しました（**図 1**）．今後は，最終的な地質調査を実施し，コンクリートの打設作業が開始される予定です．この他にも，ポロイダル磁場コイル巻線建屋と ITER 機構本部ビルの工事も順調に進められています．

2．ITER 計画の展示と ITER 機構職員募集説明会の実施

原子力機構では，ITER 機構への我が国からの職員の派遣に関する支援活動の一環として，これまで国内外で ITER 計画の展示説明や ITER 機構職員公募についての説明会を行っています．さらに ITER 機構職員公募の一層の周知を図るため，昨年12月 9，10日に東京ビッグサイトで開催された「エコプロダクツ2010」の原子力機構展示ブースにおいて，来訪者に ITER 計画の説明および資料の配布を行うとともに，ITER 機構職員募集および募集に関する情報を得やすくするために原子力機構が進めている登録制度の案内を行いました（**図 2**）．来訪者からは，ITER 計画の現況，核融合エネルギーの実用化や将来の展望についての質問や ITER 機構職員として採用されるために必要なスキル・経験などについての質問がありました．

また，11月30日～12月 3 日に北海道大学にて開催された第27回プラズマ・核融合学会年会の会場に出展し，ITER 計画の資料配布や ITER 機構職員募集および登録の案内を行いました（**図 3**）．

さらに，今年 2 月18日～20日に米国ワシントン DC で開催された全米科学振興協会（AAAS）年次総会の原子力機構展示ブースにおいて，原子力機構における核融合研究計画や ITER 計画の説明を行うとともに，邦人の来訪者に対して ITER 機構職員募集と上記の登録制度の案内を行いました（**図 4**）．原子力機構展示ブースには，18日は約200人，19，20日はそれぞれ約300人の来訪者がありました．核融合に対する来訪者の関心は高く，将来のエネルギー源としての核融合への期待が強く感じられました．また，来訪者からは日本における核融合研究開発の現状に関する質問や，国際共同プロジェクトである ITER 計画における日本の役割，米国との関係などについての質問が多くありました．さらに，米国に滞在している邦人から，ITER 機構職員に募集する場合の応募窓口や手続きのプロセスなどについても質問がありました．

なお，これらの詳細については那珂 ITER ウェブサイト（http://naka-www.jaea.go.jp）の「ITER 機構職員募集説明会について」をご覧ください．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図 1　ITER トカマク複合建屋ピットの掘削工事がほぼ完了（2011年 2 月，ITER 機構提供）．

図 2　エコプロダクツ2010（2010年12月9-10日於東京ビッグサイト）での展示の様子．

図 3　第27回プラズマ・核融合学会年会（2010年11月30日-12月 3 日於北海道大学）での展示の様子．

図 4　全米科学振興協会年次総会（2011年 2 月18-20日於米国ワシントン DC）での展示の様子．

このたびの東日本大震災で被災されました方々に心よりお見舞い申し上げます．被災地の１日も早い復興を心より祈念いたします．

１．第18回 ITER 企業説明会を開催

３月８日，32団体から49名の参加者を迎えて，東京新橋において，第18回 ITER 企業説明会が開催されました．今回は，文部科学省の片岡研究開発戦略官より，ITER 計画の進捗状況，ITER 建設スケジュール，昨年11月に開催された第７回 ITER 理事会の結果概要等について説明いただきました．また，原子力機構の芳野 ITER プロジェクトユニット長より，ITER サイトの建設状況，調達取り決めの締結状況，日本が分担する調達機器の製作状況と H23年度の予定，ITER 機構職員数の状況等について説明しました．さらに，原子力機構の多田上級研究主席より，ITER における調達プロセス，ITER ベースライン，品質管理に関する要求，設計要求と合理化，超伝導マグネット建設規格，プラント機器の標準化等について説明しました．講演後には参加された企業の方から多くの質問があり，活発な意見交換が行われました．

本企業説明会についての詳細は，以下のページをご覧ください．

http://naka-www.jaea.go.jp/ITER/jada/index9_b_18.html

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図１　第18回 ITER 企業説明会の様子．

ITER 理事会を青森市にて開催

6 月14日，15日，青森市にて第 8 回 ITER 理事会が開催された．議長であるロシアのベリホフ氏の下，7 つの ITER 加盟極の代表が一堂に会した．

理事会では，日本の震災による主要機器の製作への影響を含め，既に承認された予算内で ITER 計画のスケジュールを如何に維持するかが議論され，そのための方策を本年10月までに策定することになった．これを受け，「我々は遅延を最小化するため，あらゆる手段を講じる」と本島修 ITER 機構長が述べた．

核融合エネルギーが，安全・燃料が豊富・環境にやさしい・経済的な競争力のある未来のエネルギー源になる可能性があることから，その重要性・必要性を理事会において再確認した．また，地球規模でエネルギー源を確保し，世界の生活水準を一層向上させるためにも，ITER 計画が核融合エネルギー開発の大きな助けとなり，このため加盟 7 極間で強固な協力を継続することを確認した．

ITER 機構と国内機関による ITER 事業のコスト削減及び抑制のための取組を理事会は評価し，更に日本の震災影響を考慮したコスト抑制／削減を行うよう指示した．また，ITER 機構の2010年年次報告を採択，職員規則改定の承認，2 年に 1 回実施される運営評価を実施する評価人の任命を行い，成功裏に閉幕した．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図 1　第 8 回 ITER 理事会（写真奥が日本代表団）

図 2　各極の ITER 理事会メンバー

1．ITER 用超伝導コイルの実規模レベル試作

原子力機構が調達を担っているITERトロイダル磁場（TF）コイルの実規模レベルの試作として，① 1/3 規模のダブルパンケーキの試作，②実規模のラジアルプレートの試作，③コイル容器の部品 2 箇所の実規模試作を世界に先駆けて実施しました．ITER TF コイルは高さ 14 m，幅 9 m の D 型の超伝導コイルで，導体をラジアルプレートの溝に納めるため，高精度で巻線を行う必要があります．1/3 規模のダブルパンケーキの試作では，銅ダミー導体と超伝導導体を用いて D 型 6 ターンの巻線を試作し，0.06 %という高い精度を達成しました．銅ダミー導体を用いて試作した巻線は，ラジアルプレートの溝に納めて絶縁含浸し，ダブルパンケーキを製作しました（**図 1**）．これを解体して内部の絶縁状態を検査し，絶縁技術に問題がないことを確認しました．また，超伝導導体を用いて試作した巻線は，超伝導生成熱処理を施し，この熱処理に伴う巻線の変形量を測定しました．実規模のラジアルプレートの試作では，溶接による変形量を測定し，実機製作に必要なデータを取得しました（**図 2**）．コイル容器については，製造技術の確立を目的として部品 2 箇所の実規模試作を行い（**図 3**），溶接施工性に関して，260 mm の深さで片面からの狭開先自動 TIG 溶接が可能であることを確認するとともに，溶接による変形量を測定しました．これらの試作により得られた成果は実機での施工要領に反映する予定です．

2．ITER NBI に向けた MeV 級加速器で ITER 要求レベルの負イオンビーム加速に成功

1 基あたり 16.5 MW の重水素ビームを入射する ITER 中性粒子ビーム入射装置（Neutral Beam Injector: NBI）では，40アンペア（電流密度 200 A/m^2）という大電流の重水素負イオンビームを 1 MeV まで加速する必要があります．原子力機構では，MeV 級加速器で 1 MeV，200 A/m^2 の負イオンビーム加速をめざした開発研究を行ってきました（**図 4**）．これまで 1 MV 高電圧加速器内（真空中）での絶縁に問題があり，性能は 800 keV，140 A/m^2 程度に制限されていました．そこで，加速器内の角部・凹凸などでの局所的な電界集中を従来以上に低減する改造を行い，さらにビーム軌道が磁場やビーム相互の空間電荷反発によって

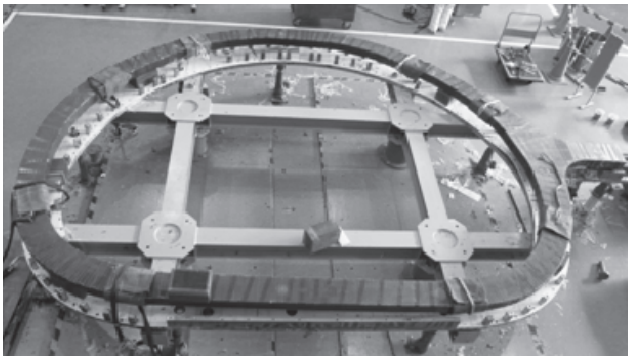


図 1　1/3 規模（5.1 m×3.8 m）のダブルパンケーキ試作．

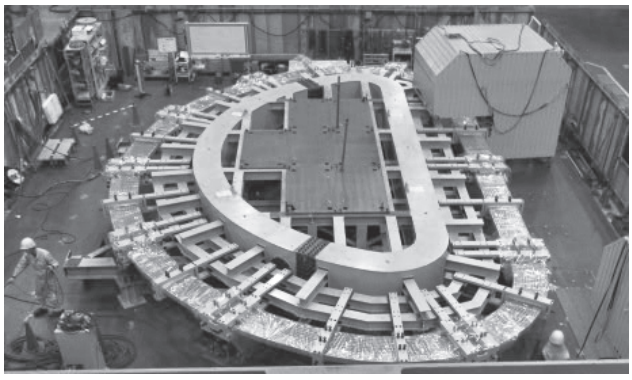


図 2　実規模（13 m×8 m）のラジアルプレート試作．

図 3　コイル構造物の実規模試作．

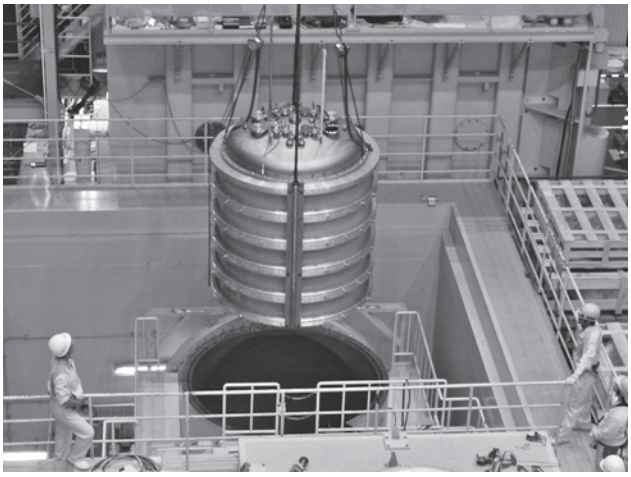


図 4　ITER 用加速器の開発研究を行っている MeV 級加速器.

偏向されるのを補正し，負イオンビームが電極に衝突するのを抑制することで，本年 1 月に ITER 要求レベルをほぼ満足する 980 keV, 185 A/m^2 の負イオンビーム加速に成功しました（**図 5**）.

3．ITER NBI 用高電圧ブッシングの実規模モックアップで絶縁性能を実証

高電圧ブッシングは，絶縁ガス中に設置される高電圧電源伝送系と真空中に設置される負イオン源及び加速器との間の圧力隔壁であり，かつ電力や冷却水，プラズマ生成用ガスを接地電位から絶縁しながら供給する絶縁導入器です．大口径セラミックリングとガラス繊維強化プラスチック（FRP）リングを二重に配置し，これを 5 段重ねとした構造であり，各段で－200 kV，5 段で－1 MV を絶縁します（**図 6**）. 外径が 1.56 m，高さが 29 cm と世界に類を見ない大きさのセラミックリングが必要であり，この製作が長年の課題でした．原子力機構はメーカーと共同で新しい成型法を開発し，世界最大のセラミックリングの製作に成功しました．また，真空を封じるために大口径セラミックリングと金属リングを接合する技術も確立しました．そしてセラミックリングと金属の接合体を用いて高電圧ブッシングの 1 段分を模擬する実規模モックアップを製作しました．このモックアップに，電気的特性の違いにより接合箇所を起点に生じる放電を抑制するための金属部品を組み込み，耐電圧試験を実施しました．その結果，定格電圧を 20 %上回る－240 kV を 1 時間以上安定に保持し，要求される絶縁性能を実証しました.

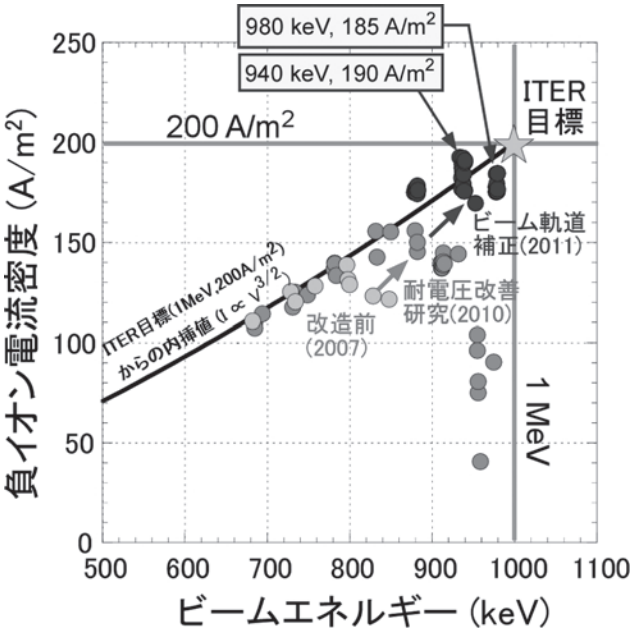


図 5　MeV 級加速器の性能の進展.

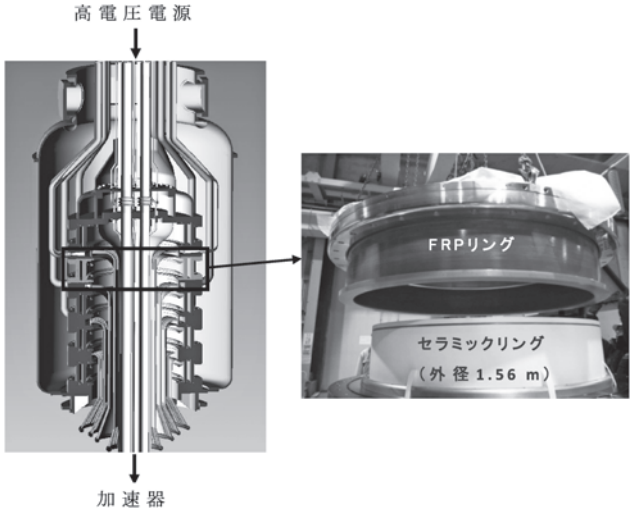


図 6　ITER NBI 用高電圧ブッシングと実規模モックアップ.

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

1．ITER カダラッシュサイトにおける建設の進展状況

南仏 ITER カダラッシュサイトでの建屋の建設は，2010年 8 月に本格的に開始されてから順調に進展しています．トカマク複合建屋のピット(幅 90 m，長さ 130 m，深さ 17 m)では掘削作業がほぼ完了し，現在はピットの内壁整備と免震用ベースマット（コンクリート 100,000 m^3，鉄筋 3,400トン）の設置作業が行われています（**図 1** 手前）．直径 5 m から 24 m のポロイダル磁場コイル（ニオブ - チタン製）を製作する巻線建屋（幅 49 m，長さ 257 m，高さ 18 m）は，今年中に完成予定で，来年には最初のポロイダル磁場コイルの巻線作業が開始される予定です（**図 1** 左奥）．また，ITER 機構スタッフ500人が働く ITER 機構本部ビル（地上 5 階地下 1 階，高さ 20 m，長さ 180 m）の工事も来年中頃の完成に向けて順調に進められています（**図 2**）．

2．ITER 計画の展示と ITER 機構職員募集説明会の実施

原子力機構では，我が国から ITER 機構への職員の応募を促進する活動の一環として，これまで国内外で ITER 計画の展示や ITER 機構職員公募の説明会を行っています．この度，9 月20，21日に北九州国際会議場で開催された日本原子力学会2011年秋の大会の原子力機構展示ブースにおいて，ITER 機構職員募集の案内を行いました（**図 3**）．また，10月22日には那珂核融合研究所において開催された施設見学会の会場において，ITER 機構職員募集の案内を行いました（**図 4**）．会場では ITER カダラッシュサイトにおける建設状況や ITER 機構職員の採用予定などについて多くの質問があり，ITER に対する関心の高さが感じられました．

なお，これらの詳細については那珂 ITER ウェブサイト（http://naka-www.jaea.go.jp）の「ITER 機構職員募集説明会について」をご覧ください．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図 1　建設工事が進むトカマク複合建屋ピット(手前)とポロイダル磁場コイル巻線建屋(左奥)(2011年 9 月，ITER 機構提供)．

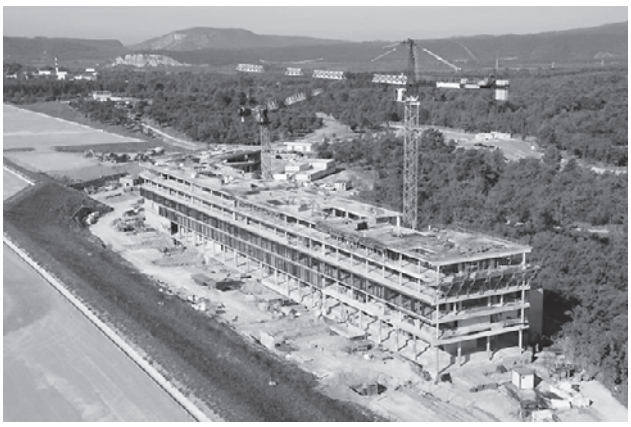


図 2　来年中頃に完成予定の ITER 機構本部ビル（2011年 9 月，ITER 機構提供)．

図 3　日本原子力学会2011年秋の大会（2011年 9 月20-21日於北九州国際会議場）での展示の様子．

図 4　平成23年度那珂研施設見学会（2011年10月22日）での ITER 機構職員募集説明の様子．

1．第 9 回 ITER 理事会をカダラッシュにて開催

2011年11月17，18日，第 9 回 ITER 理事会が仏カダラッシュにて開催され，７つの ITER 加盟極の代表が一堂に会しました．

ITER 計画のスケジュールについて，ITER 機構は，ファーストプラズマを2019年11月から１年遅らせ2020年11月とするが，核融合反応開始は2027年を維持する作業スケジュールを策定しました．理事会は，このスケジュールおよびコストが，2010年７月のベースライン合意の範囲内であることを確認しました．

理事会は，ITER 建設全体の調達価額の 71.5% に相当する60の調達取決めがすでに締結されていることを確認しました．また，理事会は，予算の上限値を守るために ITER 機構によって提案されたコスト戦略を承認しました．

２年に一度実施することになっている ITER 機構の運営評価の結果とともに，運営を改善するための様々な提案が報告されました．これらの提案に対する ITER 機構の取り組み状況については，次回会合で報告される予定です．

エフゲニー・ベリホフ氏（露）の ITER 理事会議長，ギュンス・リー氏（韓）の運営諮問委員会（MAC）議長，およびワン・シャンシー氏（中）の科学技術諮問委員会（STAC）議長としての任期が本年末に満了することに伴い，理事会は高津英幸氏（日），ランジャイ・シャラン氏（印）およびホアキン・サンチェス氏（欧）をそれぞれの後任として選出しました．理事会は，退任する議長達の貢献に対して感謝の意を示すと共に，新しい議長達を歓迎しました．

図１　第 9 回 ITER 理事会議事風景

図２　日本の理事会メンバー（写真提供：ITER 機構）

図３　各極の ITER 理事会メンバー等

2．ITER 機構における博士課程修了研究者の公募

現在 ITER 機構では，モナコ公国とのパートナーシップ協定に基づき，博士課程修了研究者を ITER 計画の参加国及びモナコ公国から募集中です．募集案内は ITER 機構ホームページに掲載されています．我が国は，ITER 計画の参加国であり，我が国の国籍を有する方は，本公募に対して応募することができます．

今回は2008年 3 月，2009年12月に続く第 3 回目の募集となります．核融合プラズマ物理から炉工学までの幅広い専門分野を対象とし，5 名の若手研究者を募集しています．任期は 2 年で，採用されますと専門職員（P1 グレード）となり，ITER 機構から給与が支給されます．応募資格は，2009年 1 月 1 日以降に博士号を取得した方，あるいは着任までに取得見込みの方となります．応募締め切りは2012年 1 月31日です．応募の詳細や最新の情報については下記のウェブサイトをご覧下さい．

http://www.iter.org/monaco2012

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図 4　ITER 機構における博士課程修了研究者の公募2012（図提供：ITER 機構）．

1．3 件の調達取り決め（Procurement Arrangement, PA）を締結

日本が調達責任を有する「ITER ブランケット遠隔保守装置」,「中性粒子ビーム加熱装置（NB）用高電圧ブッシング」,「NB 用高電圧部電源」の調達を開始するため，この度，原子力機構は ITER 機構との間で 3 件の調達取り決めを締結いたしました．

これにより，ITER 真空容器内の高い放射環境下で保守作業を行うブランケット遠隔保守装置（保守ロボット）（**図 1**），イタリアのパドバに建設予定の NB 試験施設用の高電圧ブッシングおよび NB 電源システム（**図 2**）の調達に着手します．

写真 1　3 件の調達取決め書を前に握手を交わす原子力機構二宮核融合研究開発部門長と ITER 機構ハンゲ副機構長．

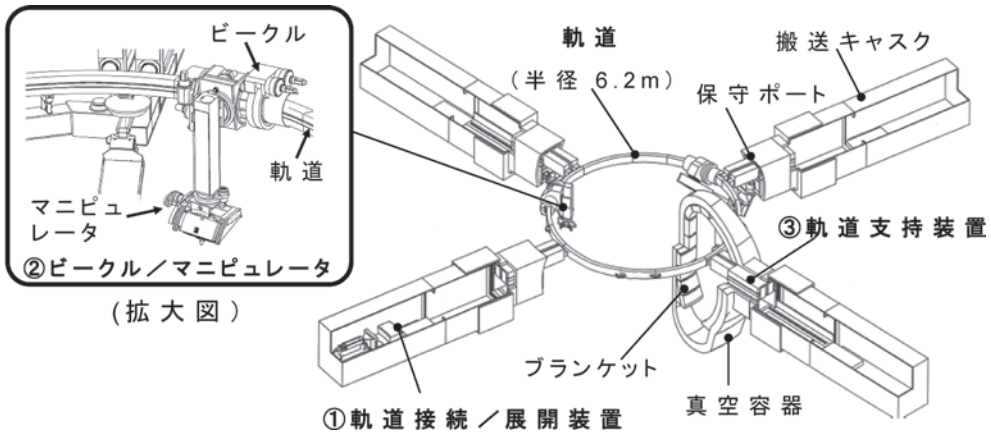


図 1　真空容器内の保守ロボット．

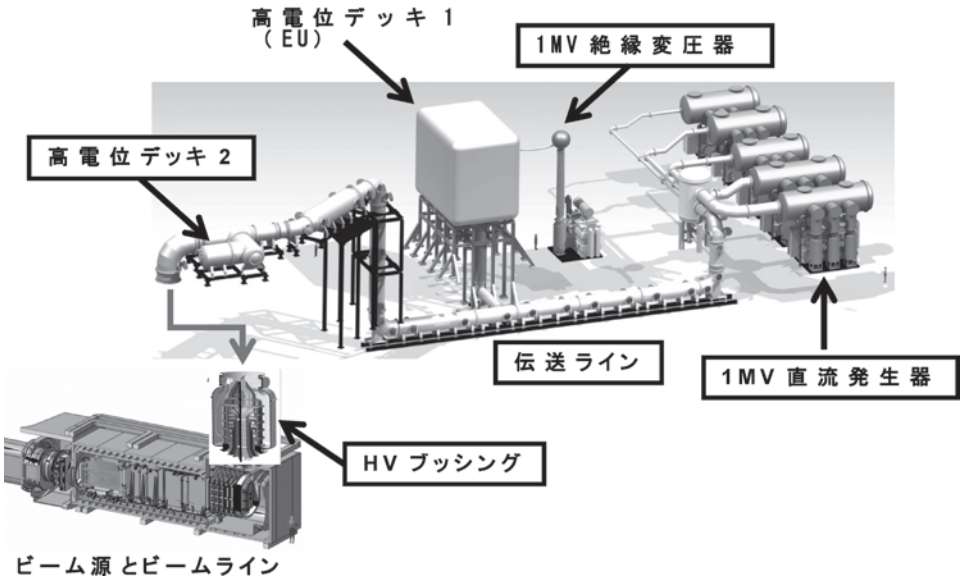


図 2　NB 電源システムと日本分担の機器（□部分）．

2．ITER 企業説明会の開催

2 月23日には，29団体から45名の参加者を迎えて，東京日本橋において第19回 ITER 企業説明会が開催されました．文部科学省片岡研究開発戦略官（核融合・原子力国際協力担当）より ITER 計画に関する最近の状況について説明頂くとともに，今回締結された 3 件の調達取り決めを含む国内機関での調達状況について原子力機構より説明を行い，活発な意見交換が行われました．

原子力機構では ITER 企業説明会を開催しております．今後の開催スケジュールや，これまでの開催状況などに関しては ITER ウェブサイト（http://naka-www.jaea.go.jp）の「企業説明会の開催について」をそれぞれご覧ください．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

写真 2　第19回 ITER 企業説明会の様子．

1．マイクロ･フィッション･チェンバーの調達取決め（Procurement Arrangement, PA）を締結

原子力機構は，日本が調達責任を有する計測装置のうちの１つである「ITER マイクロ・フィッション・チェンバー」の調達取決めを締結しました．概念設計レビュー（2010年10月）の完了後，同レビューで指摘された課題を ITER 機構に協力して解決するとともに，取合い条件，調達工程，調達取決め文書の協議を ITER 機構と行い，この度，全ての調整が終了し調達取決め締結にいたりました．

マイクロ・フィッション・チェンバーは小型の核分裂計数管で，真空容器内に設置し，ITER のプラズマで核融合反応によって発生する中性子の総量を計測することにより，核融合出力を評価するための計測装置です（**図１**）．本調達取決めの締結により，実機の詳細設計が開始されます．

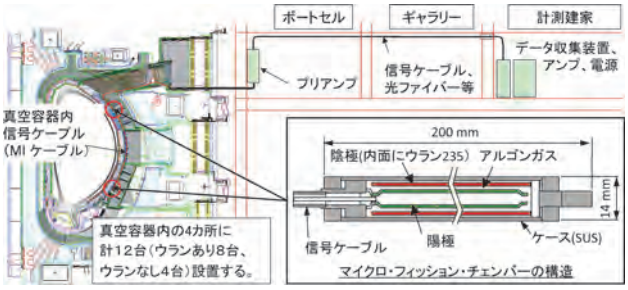


図１　ITER マイクロ・フィッション・チェンバーの概念図．

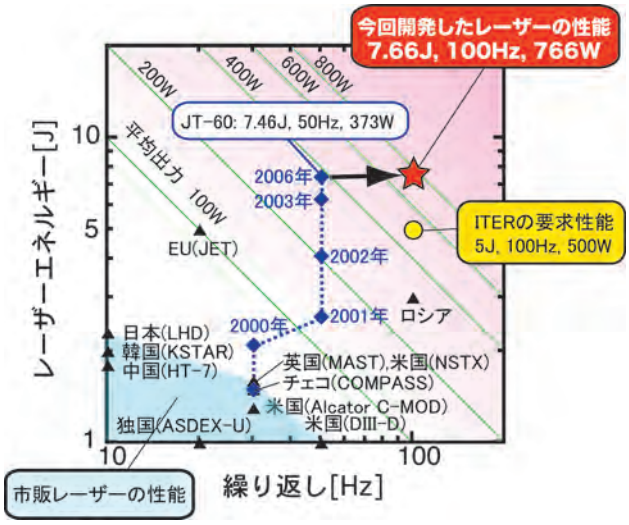


図２　世界のプラズマ計測用レーザーの性能．

2．世界最高性能のプラズマ計測用レーザー装置の開発に成功

原子力機構は，ITER においてプラズマ周辺部の電子温度及び電子密度を測定する「周辺トムソン散乱計測装置」に用いる，従来の２倍の平均出力を持つ世界最高性能のプラズマ計測用 YAG レーザー装置の開発に成功しました（**図２**，**図３**）．

サマリウム添加ガラス製のフローチューブを増幅器内で用いて，増幅率の改善を妨げている自然放射増幅光（ASE）やフラッシュランプから放射されるレーザーと同じ波長の光を選択的に吸収させることにより，半分の投入エネルギーでも従来の約２倍の増幅率を実現しました．その結果，従来の平均出力の２倍となる 766 W（7.66 J･100 Hz）を達成し，ITERの要求性能（5 J･100 Hz）を越えるレーザー装置の開発に成功しました．これにより ITER での電子温度・電子密度の高精度測定が可能となる見通しを得ました．

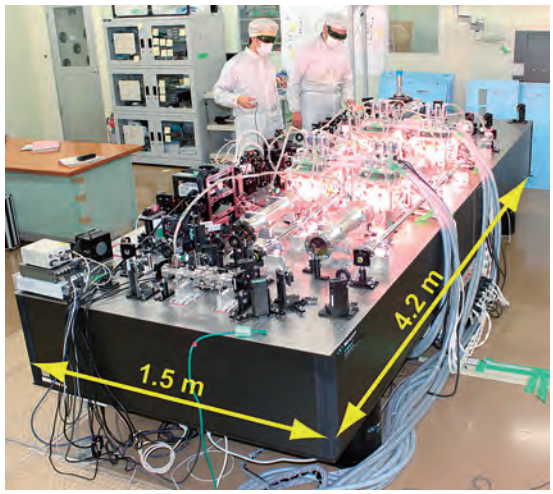


図３　開発した計測用レーザーの外観．

図４　３月９日未明に北九州港（ひびきコンテナターミナル）に陸揚げされるダミー導体．

3．中国からTFコイル用660 mダミー導体が到着

原子力機構は，調達を担当するITER向けTFコイルの製作に当り，中国および韓国にて製造された超伝導導体の提供を受ける計画です．今回，中国で製作されTFコイルの試作に用いる銅素線を用いた長さ660 mのダミー導体が，輸送されました．

今回の輸送は，ITERプロジェクトにおいて，調達取決めに基づいて行われる初めての国際間輸送です．

このダミー導体は，中国合肥にて製作され，中国国内を陸上輸送の後，上海港から日本に向けて出荷され，3月9日未明に北九州港に陸揚げされました（**図4**）．

今後，今回輸送された660 mダミー導体の受け入れのための検査を日本国内において行い，本年末頃から本ダミー導体を用いてTFコイルの試作を行う予定です．

インフォメーション

ITER だより(34)

1．第10回ITER理事会をワシントンD.C. にて開催

ITER 機構の運営組織である ITER 理事会の第10回会合が2012年 6 月20，21日に米国ワシントン D.C.にて開催されました．理事会はスティーブン・チュウ米国エネルギー省長官およびラッシュ・ホルト米議会下院議員を迎えましたが，両氏は本事業に対する米国の強い決意を述べました．2 日間の会合ではITER参加 7 極－中国，欧州連合，インド，日本，韓国，ロシア，米国－の代表者が，高津英幸博士（日本）議長の下，一堂に会しました．

ITER 理事会はカダラッシュ（フランス）における ITER サイトの建築工事の顕著な進捗および全ての ITER 参加極でのトカマク機器の製造の進展に留意しました．理事会は，493の耐震支持器が成功裡に据え付けられた，トカマク建屋耐震立坑の完成を歓迎しました．

ITER の実験における重要な要素であるテスト・ブランケット・モジュールの開発に備えて，法的な枠組み取決めが最終的に合意されました．理事会は，この研究計画への韓国の参加を歓迎しました．

理事会は，真空容器などの幾つかの主要機器の製造の遅れについて懸念を表明しました．ITER 機構は，更なる遅れを止めるための，課題を先取りする改善手法を提示しました．それらの手法の幾つかは既に実施され始めています．理事会は，国内機関と密接に協力して完全なスケジュール回復戦略の策定を更に進めて実施するようにITER 機構に要請しました．理事会メンバーは，事業がスケジュールと予算を維持する必要があることを改めて確認しました．

本島修ITER 機構長は，会合において，「ITERは正しい軌道を走り続ける巨大な国際列車のようなものである．我々の最も重要な義務は，この先一年に国内機関と ITER 機構の共同作業を通じてこの列車を加速することである．」とコメントしました．

図 1　第10回 ITER 理事会議事風景．

図 2　日本の理事会メンバー．

図 3　ITER 理事会メンバー等．

理事会は，ITER 事業のスケジュールを維持するための幾つかの技術的な決定を行いました．理事会は，ITER の中心ソレノイドのための高性能超伝導導体の性能評価の進捗に留意するとともに，時宜を得た製造およびスイスにある SULTAN 施設における試験を是認しました．理事会はまた，ITER トロイダル磁場コイルのための冷却試験のための戦略を是認しました．

会合において，これまでに76の調達取決めが ITER 機構と関係国内機関により調印されたことが報告されました．この数字は，ITER 建設の全調達価額の77%に相当します．

会合において，ITER 機構は，仏原子力規制当局 ASN から，18ヶ月に渡る検討の後，検討過程中になされた全ての勧告を考慮して，ITER の運転条件および設計に関する ITER 機構の提案は期待される安全要求を満たすことを認める公式書簡を 6 月20日に受領したことを理事会に報告しました．今後数週間内に，ASN は，ITER 施設の建設を認可する宣言案を仏政府へ送付する予定です．これは，ITER の許認可プロセスにおける重要なマイルストーンです．

2．ITER 実機トロイダル磁場（TF）コイルおよび構造物の入札説明会を那珂核融合研究所にて開催

原子力機構は，本年度から ITER トロイダル磁場（TF）コイルおよび TF コイル構造物の第 1 号機を製作する契約を締結する予定です．現在，それらを製作する 2 件の契約の手続きを進めており，手続きの一環として，5 月31日に企業を対象とした入札説明会を那珂核融合研究所にて実施しました．入札説明会には 5 社から延べ29名の参加があり，仕様や契約審査等に関する説明と質疑応答が行われました．これらの契約を 8 月末に締結することをめざしています．

3．ITER 計画の展示と ITER 機構職員募集説明会の実施

原子力機構では，我が国から ITER 機構への職員の応募を促進する活動の一環として，これまで国内外で ITER 計画の展示や ITER 機構職員公募の説明会を行っています．この度，4 月20日に茨城県東海村で開催された日本原子力学会北関東支部総会において，ITER 機構職員募集の案内を行いました．会場ではおよそ20人の若手研究者の方々から ITER 機構職員公募について多くの質問があり，ITER に対する関心の高さが感じられました．この詳細については那珂 ITER ウェブサイト（http://naka-www.jaea.go.jp）の［ITER 機構職員募集説明会について］をご覧ください．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

インフォメーション

ITER だより(35)

1．韓国から TF コイル用ダミー導体が到着

日本が分担するITER TFコイルの製作にあたり，中国および韓国が調達を分担する超伝導導体の支給を受けることになっています．今回，韓国が製作し TF コイルの試作に用いる銅素線を用いた長さ 760 m のダミー導体が，日本に輸送されました．

このダミー導体のジャケッティング（導体化）はイタリアの工場にて実施され，韓国・釜山港を経由して，7 月17日深夜に北九州港に陸揚げ，7 月19日早朝に北九州市内の倉庫まで陸送されました（**図 1**）．今後，国内にて本ダミー導体を用いた TF コイルの製作装置検証や試作を行う予定です．

2．ITER 実機トロイダル磁場（TF）コイルおよび構造物の契約締結

原子力機構は，ITER トロイダル磁場（TF）コイルおよび TF コイル構造物の第 1 号機を製作する 2 件の契約の締結に向けて，契約の手続を進めてきました．この度，8 月16日に「TFコイルの製作」については三菱重工業株式会社と，「TFコイル構造物の製作」についてはイーエナジー株式会社と契約を締結しました．これにより，実機の TF コイルおよび構造物の製作に着手しました．

3．第 9 回核融合エネルギー連合講演会での ITER・BA の展示ブース出展，ITER 職員募集説明会の実施

6 月28，29日に神戸国際会議場で開催された第 9 回核融合エネルギー連合講演会の展示エリアにおいて来訪者に核融合，ITER・BA などに関する資料を配布し，ITER 計画について説明するとともに，ITER 機構職員募集および登録の案内を行いました．

ブースには，3D プラズマディスプレイによる JT-60解体 3 D 映像，ITER および JT-60SA 模型（100分の 1 スケール），核融合関連施設の写真集などを展示し，多くの学会参加者に興味を持ってもらうことができました．また，学会参加者には学生も多く，熱心に説明を聞き，パンフレットを手に取る姿が見られました．（**図 2**）

また，8 月22日には，東京新橋において第53回 ITER 職員募集説明会を ITER 機構に採用が決まった日本人をゲストとしてお招きし，ITER 職員募集に応募する際に参考となる採用試験の体験談などを語っていただきました．（**図 3**）

これらの詳細につきましては ITER ウエッブサイト（http://www.naka.jaea.go.jp/）の「ITER 機構職員募集説明会について」をご覧ください．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図 1　7 月19日早朝に北九州港（ひびきコンテナターミナル）から倉庫まで陸送されるダミー導体．

図 2　第 9 回核融合エネルギー連合講演会における ITER・BA 展示ブースの様子．

図 3　第53回 ITER 職員募集説明会（東京　新橋）の様子．

インフォメーション

ITER だより(36)

1．ITER 中性粒子ビーム入射装置実機試験施設（NBTF）用高電圧電源および HV ブッシングに関する契約締結

ITER の中性粒子ビーム入射装置（NBI）は，1機あたりエネルギー1 MeV，ビームパワー16.5 MW の中性粒子ビームを1時間にわたってトカマクに入射し，プラズマの加熱・電流駆動を行います．かつてない高エネルギー・大電流のビームを生成するため，ITER 用 NBI の建設に先立って実規模の NBI 実機試験施設（NBTF）をイタリアのパドヴァに建設し，実証試験を行います．日本は，この NBTF 用の高電圧電源と，絶縁ガス中を伝送される電力線や冷却水配管等を真空中のビーム源に接続する HV ブッシングを調達します．原子力機構は，高電圧電源および HV ブッシングに関する契約の締結に向けて，手続きを進めてきました．このたび，NBTF 用高電圧電源の契約を株式会社日立製作所と、HV ブッシングに関する契約を京セラ株式会社ならびに日立原町電子工業株式会社と締結し，NBTF に向けた機器の製作に着手しました（**図1**）．

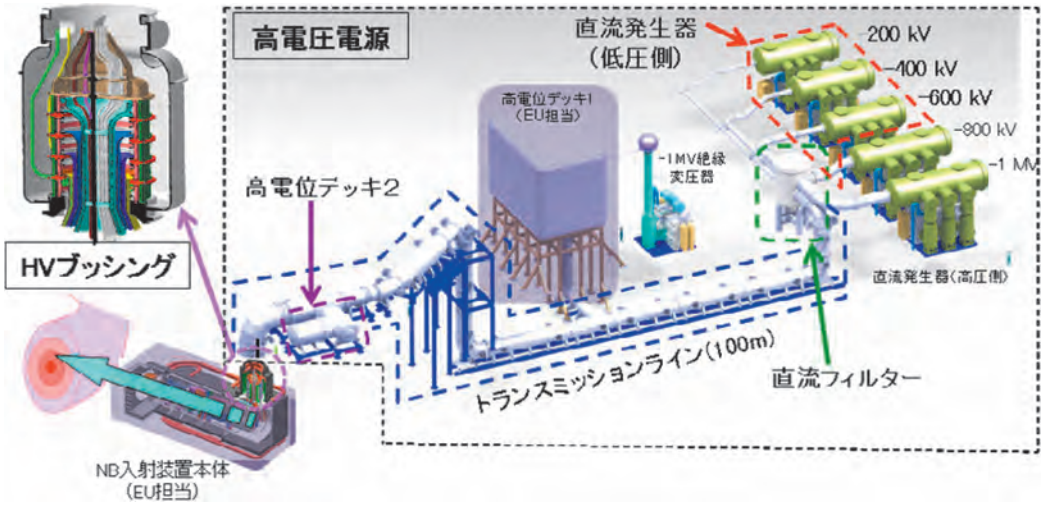
2．ITER 機構職員募集説明会の実施

第12回放射線遮蔽国際会議（9月2～7日　奈良県新公会堂），日本機械学会2012年度年次大会（9月10～12日　金沢大学　角間キャンパス）および日本原子力学会2012年秋の大会（9月19～21日　広島大学　東広島キャンパス）においてブースを出展し，来訪者に核融合，ITER などに関する資料を配布し，ITER 計画について説明するとともに，ITER 機構職員募集および登録の案内を行いました．ブースには，ITER 模型（100分の1スケール），核融合関連施設の写真集などを展示し，多くの参加者に興味を持ってもらうことができました．参加者には，学生も多く，熱心に説明を聞き，パンフレットを持ち帰る姿が見られました（**図2**）．

また，9月29日の JAEA 那珂核融合施設見学会では，ITER 研究開発棟ロビーにおいて，ご来場の方々を対象に ITER 計画の説明などを行いました．遠方から ITER 計画の進捗が知りたいという方もおられて，ITER に対する関心の高さが感じられました．

これらの詳細につきましては ITER ウェブサイト（http://www.naka.jaea.go.jp/）の「ITER 機構職員募集説明会について」をご覧ください．

（図2）日本機械学会2012年度年次大会における ITER 展示ブースの様子．



（図1）NBTF 全体図と今回の契約機器（破線内）．

1．第11回 ITER 理事会開催：ITER 計画の着実な進展を確認

2012年11月28，29日に，第11回 ITER 理事会が最近完成したITER機構本部建屋で開催されました．理事会はITER計画の最高意思決定機関であり，高津英幸（日本）議長の下，中国，欧州連合，インド，日本，韓国，ロシア，及び米国の7つの ITER 加盟極からの代表が一堂に会しました．

理事会は，ITER 本部建屋の完成を含め，ITER サイトにおける建設が力強く継続していること，ITER のコイル製造において顕著な進展があったことを確認しました．350トンを超えるトロイダル磁場コイル導体に使用するニオブ3スズ素線が6極により製造され，これはプロジェクトで必要とする全量の75パーセントに相当します．また，ニオブチタンのポロイダル磁場コイル導体の65トン（必要量の25パーセント）が，中国，欧州，ロシアにより製造されました．会合において，ITER 機構はこれまでに80件の調達取決めが署名されたことを報告しました．これは ITER 建設の全物納価額の 81.2 パーセントに相当します．

理事会は，ITER 機構と国内機関の協力を強化するために，ITER 機構によって提案された統合されたプロジェクトの運営手法を歓迎しました．本島修 ITER 機構長は，「ITER 機構及び7つの国内機関は，ITER 計画の実施のため，これまでより一層緊密に協力すべく『ユニーク ITER チーム』を設立した．これにより特に共同で協力の有効化を阻む障害の原因に立ち向かっていくことができるようになるであろう．『ユニーク ITER チーム』での更なる統合は，我々の目標を達成し，計画の総コストを最小化するための鍵だ．」と強調しました．

最後に，ITER 理事会は，主要な許認可のマイルストーンの達成（ITERを建設する許可をITER機構に与える法令にフランス政府が署名した）を賞賛しました．

ITER 理事会は，理事会及びその補助機関の議長及び副議長を再任し，テストブランケット・モジュール計画委員会の議長として過去4年間にわたる小西教授の貢献に感謝しました．（**図1，2**）

図1　第11回 ITER 理事会議事風景．

2．ITER 職員募集説明会の実施

11月7，8日2012年度秋季低温工学・超電導学会（岩手いわて県民情報交流センター（アイーナ）），11月10,11日サイエンスアゴラ（東京　日本科学未来館），11月27～29日プラズマ・核融合学会年会（福岡県 クローバープラザ）において核融合，ITER・BA などに関する資料を配布し，ITER計画について説明するとともに，ITER機構職員募集の案内を行いました．サイエンスアゴラでは，核融合についての導入として太陽専用の望遠鏡を用いて太陽の核融合を観察するなど，核融合を身近に感じて頂けるように工夫をしました（**図3**）．また低温工学・超電導学会においては，展示会における優良発表賞を受賞しました．

詳細については那珂 ITER ウェブサイト（http://naka-www/jaea.go.jp）の「ITER 機構職員募集説明会について」をご覧下さい．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図2　日本の ITER 理事会メンバー．

図3　太陽専用の望遠鏡を用いての太陽の核融合を観察．

インフォメーション

ITER だより(38)

1．ITER用中心ソレノイドコイル用超伝導導体の高性能化に成功

プラズマ電流を誘起する変動磁場の発生を目的としたITER用中心ソレノイドコイル（CSコイル）は，ITERの運転回数と同数の繰り返し電磁力を受けます．CSコイルを構成する超伝導導体の試験を2011年に実施した際，この繰り返し電磁力に対して徐々に，見かけ上の性能が低下する現象が見られました．試験装置固有の現象ではないかとの議論もあり，その原因調査を行っているところです．一方，超伝導撚線の撚りピッチを短くする導体を用いて，今回試験したところ，繰り返し電磁力に対して性能が低下しないことを確認しました．

撚線は**図1**に示すように直径0.83 mmの素線を5段階で撚る構造をしています．従来の撚線では，初段の撚りピッチは45 mm程度が一般的でしたが，今回の改良では半分以下の20 mmに短くし，以降の撚りピッチも最高で約半分に短くして撚線を製作しました．撚りピッチを短くすることで，撚線の機械的強度を高める効果を期待しています．
日本はITER用CSコイル導体を全て調達することになっています．本結果により，ITER用のCS導体の製作を本格的に開始することになります．

2．新ITER本部ビル除幕式典が開催される

2012年10月にITER機構に正式に引き渡されたITER機構の新しい本部ビルにおいて，本年1月17日に除幕式典が，200人の来賓を招いて開催されました．式典では，欧州委員会のGünther H. Oettingerエネルギー担当EUコミッショナーから，“ITERが立地する欧州は，グローバルなエネルギー研究の鍵となる役割を今も，そしてこれからも果たす”と，ITER計画推進への力強いメッセージが発せられるなど，来賓の方々からITER計画推進支持のメッセージが発せられました（**図2**）．

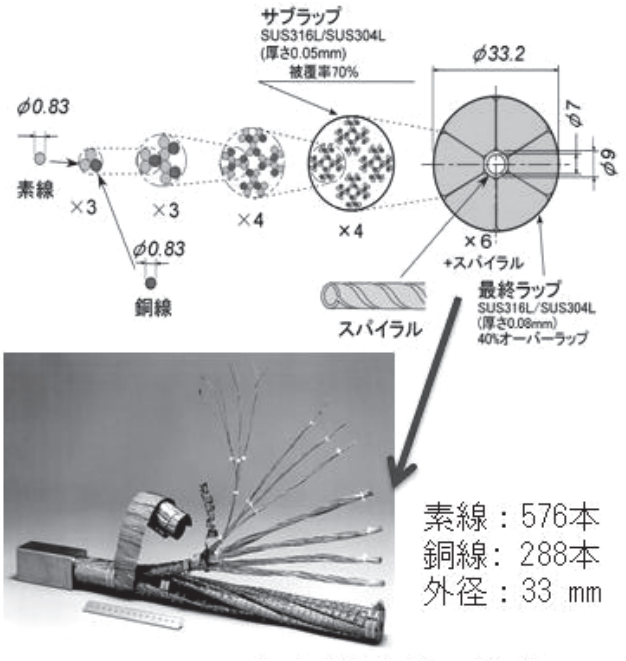


図1　CSコイル用超伝導撚線の構造．

図2　写真左から，Hugues Parantプロバンス＝アルプ＝コート・ダジュール知事，Geneviève Fioraso高等教育・研究大臣，Günther H. Oettingerエネルギー担当EUコミッショナー，ITER機構本島機構長．

インフォメーション

ITER だより(39)

1．ITER ビジネスフォーラム2013の開催

2013年 3 月21日，22日，フランスのトゥーロンにおいて「ITER ビジネスフォーラム2013」が開催されました．2007年から始まり今回で第 3 回目の ITER ビジネスフォーラムには，24か国から企業，大学，研究機関（計386社：内日本からは企業 3 社，研究機関 1 社）が参加しました．このフォーラムは，企業が今後の ITER 機器調達に参入する機会を作ることを目的としています．フォーラムでは本島 ITER 機構長から ITER の概況説明，各国内機関から調達状況について説明があり，原子力機構核融合研究開発部門副部門長の多田から日本の調達状況を発表しました．また，各機器の調達分野に分かれてワークショップが行われ，それぞれの機器製作に関連する企業が，自社の技術紹介や現在の製作状況についての展示や説明を行い，活発な議論が行われました（**図 1**）．

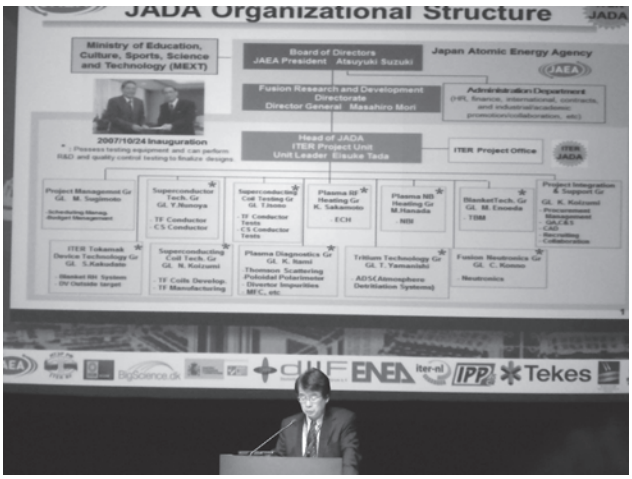


図 1　ITER ビジネスフォーラム2013の様子（多田　原子力機構副部門長）．

2．トロイダル磁場コイルの巻線の製作準備作業を開始

原子力機構は 4 月，トロイダル磁場（TF）コイルの製作の一環として，TF コイルの巻線試作に用いる中国製ダミー導体と 3 本の日本製 TF 導体，また，実機 TF コイルに用いる韓国製 TF 導体，計 5 本の TF 導体の受入検査を実施しました．これらの導体は受入検査に合格し，今後 TF コイルの巻線試作および実機の製作を行う予定です（**図 2**）．

3．ITER 計画の展示と ITER 機構職員募集説明会の実施

原子力機構では，我が国から ITER 機構への職員の応募を促進する活動の一環として，これまで国内外で ITER 計画の展示や ITER 機構職員公募の説明会を行っています．この度，平成25年度電気学会全国大会（ 3 月20～22日　名古屋大学　東山キャンパス），日本原子力学会2013年春の年会（ 3 月26～28日　近畿大学　東大阪キャンパス）および日本原子力学会北関東支部総会（ 4 月19日　茨城県東海村）においてブースを出展し，来訪者の方々に ITER 計画などの資料を配布し，ITER 機構職員募集および登録の案内を行いました．これらの詳細については那珂 ITER ウェブサイト（http://naka-www.jaea.go.jp/ITER/index.html）の「ITER 機構職員募集の説明会について」をご覧下さい．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図 2　直径 4 m に巻き取られた導体（左奥：中国製ダミー導体，右奥実機 TF コイル用の韓国製 TF 導体，他：日本製 TF 導体）．

インフォメーション

ITER だより(40)

1．第12回 ITER 理事会開催：ITER は完全な建設段階に移行

2013年 6 月19，20日に，ITER 機構の統治組織（理事会）が日本の東京で招集されました．この 2 日間の会合では，7 つの ITER 参加極の全て－中国，欧州連合，インド，日本，韓国，ロシア，および米国－の上級代表者が，高津英幸議長（日本）の下，一堂に会しました．

ITER 計画は完全な建設へ移行しています．理事会は，フランスのサン・ポール・レ・デュランスの ITER サイトにおける建設活動のペースが加速されていること，そして全ての ITER 参加極において現在進められているトカマク機器及び支援システムの製造がよく進展していることに留意しました．最近主要な契約が締結され，そして今や多くの一流企業がこの事業に携わっています．大型機器のサイトへの最初の搬入が2014年の第 3 四半期に予定されています．

理事会は，スケジュールの加速を達成することを目的として事業の遂行を改善するために作られたユニーク ITER チームの一環として，ITER 機構と国内機関間の協力の改善を歓迎しました．初プラズマに必要なシステム及び機器の製造のスケジュール状況を改善するために，密接な協力を通じて，解決策が追求されています．これには企業との密接な協力が含まれており，既にある遅延を回復させる結果となっています．ITER 理事会は，スケジュールを遂行するための努力を持続することの重要性を再確認し，一方で ITER がこの種として初めてのものであることによる挑戦を認識しました．

ITER のコイルの製造において大きな進捗が報告されました．これまでに，トロイダル磁場コイルの導体用に420トンを超えるニオブスズ（Nb_3Sn）の素線が，6 つの調達を担う参加極により製造されており，これは ITER 計画に必要な分の90%に相当します．また，ポロイダル磁場コイルの導体用に133トンのニオブチタン（NbTi）の素線が，中国，欧州連合，およびロシアにより製造されました（事業に必要な分の51%に相当）．

理事会は，2013年の運営評価人としてビル・マディア氏の任命を承認しました．サン・ポール・レ・デュランスの ITER サイトにおいて，9 月 5，6 日に閣僚級の代表を伴う特別会合が開催される予定で，核融合のための巨大な国際協力の建設の進捗を直接目にすることができます．

図 1　第12回 ITER 理事会議事風景．

2．インド国内機関との低温循環装置試験に関する取り決め締結

インド国内機関と原子力機構は，インド国内機関が調達する極低温循環装置を原子力機構で試験する取り決めに 6 月19日に調印しました．極低温循環装置は，ITER プロジェクトの極低温システムを構成する装置の一つで，マグネットシステムと極低温真空ポンプに超臨界圧ヘリウムを送る装置です．インド国内機関は，リスク緩和のため実機調達開始前に運転条件における低温循環装置の性能を確認することを決定し，原子力機構が保有する極低温試験設備がその試験に適切と判断して，本取決めを締結することになりました．

図 2　取り決め調印の様子（左：森部門長，右：Dr. S. Deshpande 氏）．

3．直流120万ボルト1時間，直流106万ボルト5時間保持に成功

ITERの中性粒子入射装置（NB）電源は，40Aの重水素負イオンビームを1 MeVまで加速するための直流100万ボルトの超高圧電源システムであり，負イオン生成電源と加速電源から構成されます．このうち，負イオン生成電源は，負イオンを100万ボルトの電位上で生成し接地電位（大地の電位）に向けて加速することから，大地に対して100万ボルトの絶縁を確保する必要があり，そのために直流100万ボルトの絶縁変圧器が必要です．しかしながらこのような絶縁変圧器はこれまで開発されたことがないため，絶縁変圧器のモデルを試作し絶縁の実証試験を行いました．原子力機構は，絶縁変圧器モデルの設計製作において直流長時間絶縁特性を考慮した絶縁構造や複合構造の引出しブッシングを開発・適用し，直流120万ボルトで1時間及び直流106万ボルトで5時間の保持を達成し，ITERの要求性能を満足することができました．なお，本研究成果は，2013（平成25）年3月22日に名古屋大学で開催された電気学会全国大会で発表しました．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図3　開発した絶縁変圧器（高さ16 m）．

インフォメーション

ITER だより(41)

1．プラズマ計測装置調達取決めの締結

ITER 機構と原子力機構は，日本が調達責任を有するプラズマ計測装置のうち，4つの計測装置（ポロイダル偏光計，周辺トムソン散乱計測装置，ダイバータ赤外サーモグラフィー，ダイバータ不純物モニター）についての調達取決めを締結しました．(ITER 機構は7月30日，原子力機構は8月7日に署名)．これは，昨年4月に締結したマイクロ・フィッションチェンバーの調達取決めに引き続き，日本が担当する計測装置の2番目の調達取決めになります．

ポロイダル偏光計は，多視線の遠赤外レーザーをプラズマに入射し，プラズマを通過したレーザー光の偏光状態の変化から，プラズマの電流分布を計測します．周辺トムソン散乱計測装置は，YAG レーザーをプラズマに入射し，ペデスタル領域を含む周辺プラズマの電子温度と電子密度を高空間分解能で計測します．ダイバータ赤外サーモグラフィーは，内側ダイバータ板および外側ダイバータ板においてELMなどによる熱流束を高空間・高時間分解能で計測します．ダイバータ不純物モニターは，ダイバータプラズマからの紫外～可視光の発光分布から，ダイバータに流入するプラズマ粒子束やダイバータ領域での不純物の挙動を計測します．今後，本調達取決めに基づき，これら4つの計測装置の詳細設計を開始します（**図1**）．

2．ITER トロイダル磁場（TF）コイルおよび構造物の実機製作の契約締結

原子力機構は，2012年度に，日本が調達を担当するITER トロイダル磁場（TF）コイル，および欧州が調達を担当するTFコイルに用いる構造物について，各々の初号機製作および実規模試作の契約を締結しました．これに引続いて，4機分のTFコイル，および3機分の欧州分TFコイル用構造物を製作する契約の締結に向けて契約の手続を進めてきました．この度，TFコイル第2号機および第4号機を製作する契約を三菱重工業株式会社と，TFコイルの第3号機と第5号機を製作する契約を株式会社東芝と，第2号機から第4号機の欧州分TFコイル用構造物を製作する契約をイーエナジー株式会社と締結しました．これにより実機のTFコイルおよび構造物の製作を着実に進めます．

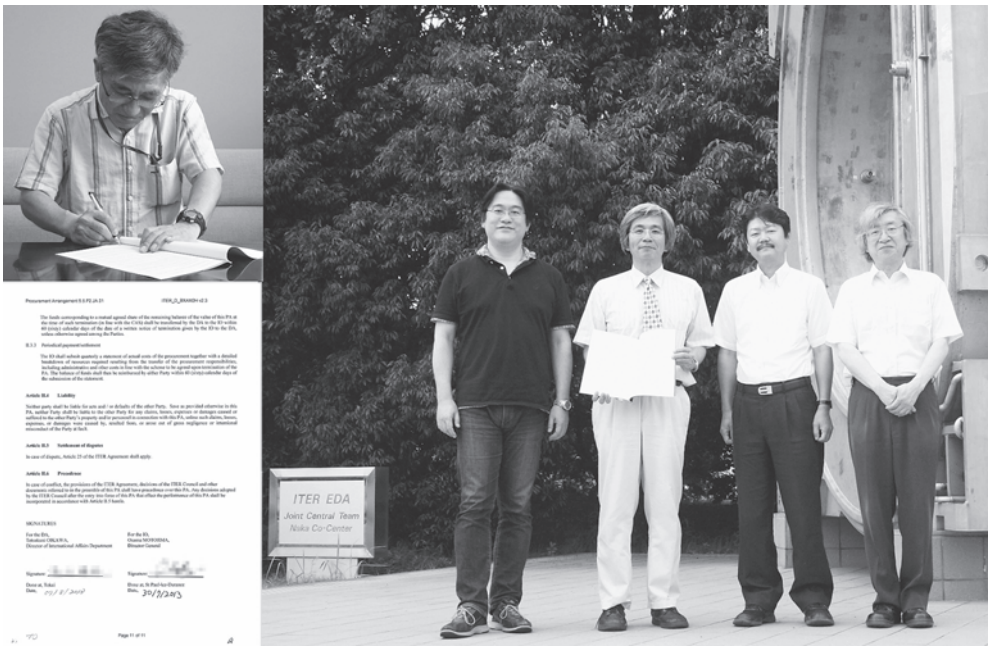


図1　調達取決め文書と署名の様子．

インフォメーション

ITER だより(42)

1．閣僚級 ITER 理事会開催：各極閣僚が世界の将来のエネルギー需要に応える ITER の重要性を再確認

閣僚級の代表は，世界の未来のエネルギー源としての核融合の重要性を再確認し，事実上無尽蔵で，環境への負荷も少ない核融合エネルギー開発の道のりにおいて，不可欠なステップと位置づけられる ITER 実験装置の重要性を強調しました．また，参加者はITERでの国際協力体制が，将来の世界規模の科学協力の新しいモデルとなることを強調しました．

会合は，欧州委員会エネルギー担当委員，欧州原子力共同体代表であるギュンター・エッティンガー氏の呼びかけで 9 月 6 日に ITER 機構本部にて開催されました．

ITER 加盟 7 極（中国，欧州，インド，日本，韓国，ロシア，米国）の閣僚級代表が会するのは，プロジェクトの歴史の中で 2 回目です．今回は，建設作業がハイスピードで進展していることを背景に，閣僚級の代表が計画実施の進捗を議論し，このような初めての計画ならではの挑戦，特に，スケジュールやコスト抑制などについて認識し，ITER の成功に向け共に努力することを再確認しました．

ITER は南仏，サン・ポール・レ・デュランスにおいて2010年より建設中です．会合において，フィオラゾ仏高等教育・研究大臣は「ITER は重要な社会的関心に応え，科学への熱意を育むものであると同時に，未来に希望を抱かせる困難な技術的挑戦である．」と述べました．

ITER サイトで建設が進むと同時に，トカマク型核融合炉のハイテク機器が ITER 加盟極の企業にて製作されつつあります．現在，ほとんどの契約が産業界を先導する企業との間で締結され，一部の機器は ITER サイトに到着し始めました．2014年 6 月の組立て開始に合わせて最初の大型機器が到着する予定です．

閣僚級の代表は，建設サイトを訪問し，今日までの ITER の進捗を賞賛しました．本島修 ITER 機構長は，「この良好な進捗状況は，我々がユニーク ITER チームと呼んでいる ITER 機構と 7 極国内機関の強いパートナーシップによる多大な協力のたまものである．ITER 参加極による我々への信任に感謝する．」と述べました．

エッティンガー委員は，「ITER 計画は歴史的事業であり，不断の努力と革新的な方法で様々な困難，特に，コストを抑えつつタイトだが現実的なスケジュールを維持するという困難に挑戦することが必要である．」と述べました．

これに関連して，閣僚級代表は，各国内機関と密接に協力して ITER 建設に向けたマネジメントの改善計画を提案するよう ITER 機構に対し要請しました（**図 1，2**）．

2．ITER 韓国国内機関（KODA）の新オフィスビルの開所式開催

ITER 韓国国内機関（KODA）の新たなオフィスとなる韓国国立核融合研究所（NFRI）のオフィスビルの竣工式（開所式）が 9 月30日に開催されました．オフィスビルは，NFRI の所有するトカマク実験装置 KSTAR の　実験棟の隣に建設されました．地下 2 階，地上 6 階からなり，4 階と 5 階の一部が　KODA のオフィスとなります．ビルの 5 階には日本をはじめとした各極国内機関，ITER 機構（IO）のためのオフィスも用意されています．

式典には，韓国政府代表，NFRI 所長，本島 ITER 機構長，韓国基礎科学研究所（KBSI）所長，多田原子力機構副部門長らが臨席しました（**図 3，4**）．

3．ITER サイトへの輸送試験の実施

ITER 機構は，欧州国内機関と仏原子力庁の協力のもと，地中海近くの町ベール・レタンから ITER サイトま

図 1　トカマクピットに集合した閣僚級 ITER 理事会各極代表者．

図 2　閣僚級 ITER 理事会議事風景．

図3　韓国国内機関オフィスビル全景.

図4　韓国国内機関オフィスビル開所式での記念写真.

での大型の物納機器の輸送を実施するため輸送試験を行いました．長さ46 m，幅9 m，総重量約800トン（コンクリートブロック360個のダミー荷重600トン，トレーラー185トン）の物納機器を模した荷物は，ベール・レタンの海岸を9月16日の夜9時45分に出発し，9月20日朝4時45分ITERサイトに到着しました．車列は，100 m以上にわたり，5－15 kmのスピードで一般道を走行し，途中で4箇所の高速道路を横断し，4晩かけて104 kmの道のりを旅しました．この道路は，2008年から2011年にかけて道幅の拡張，橋梁の強化等が行われました．ITERを構成する機器の輸送は，2014年半ば頃から始まり，2014年から2019年にかけて230回の輸送が行われる予定です（**図5**）．これらの詳細についてはITER機構ウェブサイト（下記）のプレス・リリースをご覧ください．

http://www.iter.org/doc/www/content/com/Lists/list_items/Attachments/527/2013_09_Convoy.pdf

図5　輸送試験の様子.

インフォメーション

ITER だより(43)

1．第13回 ITER 理事会開催

2013年11月20日および21日にフランスのサン・ポール・レ・デュランスでITER機構のガバナンス機関であるITER理事会が開催されました．この2日間の会合では，議長である高津英幸氏（日本）の下，7つの極全て－中国，欧州連合，インド，日本，韓国，ロシア，および米国－からの上級代表が一堂に会しました．

理事会は，計画の中で主要なマイルストーンとなる，サイト内における主要な土木作業のための契約が締結されたことに留意しました．これらの産業界のパートナーとの契約には，トカマク装置並びに隣接した建屋の建設およびエンジニアリング作業が含まれています．また，全7極は，超伝導コイル，真空容器，クライオスタットなど，鍵となる機器の製造がそれぞれの企業において着実に進展していることを報告しました．

理事会は，2年に1回，独立機関が行う内部評価からの事業の運営およびガバナンスに関する改革の要求に対応しました．理事会はITER計画がスケジュール遅延等の直ちに取り組む必要のある課題に直面しているという評価人の見解に同意しました．このため，行動計画が1月半ばに示され，2月初めの臨時ITER理事会において評価されます．

理事会は，第1期はカーボン製ダイバータを用い，第2期にタングステン製ダイバータに交換する従来の計画に代わり，運転初期からタングステン製ダイバータを用いるというITER機構の提案を承認しました．この重要な決定は，コスト削減に寄与するもので，電子物理研究所（ロシア，サンクトペテルブルク）および欧州のトカマク装置JET（英国）における実験の成功など，タングステン製ダイバータに関する2年以上の研究開発成果に従って下されました．

理事会はまた，プラズマ全体の安定性を改善する真空容器内コイルの設計および試作の開発の進捗に留意し，これを計画のベースラインに含めるとのITER機構からの提案を承認しました．

ITER機構はITERの最も大きく重い規模の機器のレプリカを800トントラックに積み込み，104 kmの旅程を輸送して物理的耐久性の試験を行う試験輸送の成功を報告しました．この先駆的成功は2014年夏から始まる実際のITER機器輸送に向け，道を開くものです．

ITER理事会はギュンス・リー氏を2014年1月の初めから1年間の任期でITER理事会の副議長として，オレグ・フィラトフ氏および鎌田裕氏をそれぞれITER理事会の科学技術諮問委員会（STAC）の議長および副議長として，チアシュ・ティエン氏およびアンドラス・シーグラー氏をそれぞれITER理事会の運営諮問委員会（MAC）の議長および副議長として選出しました．またマウリッツィオ・ガスパロット氏がテストブランケット・モジュール計画委員会（TBM-PC）の議長として再任され，ボン・グエン・ホン氏が副議長として任命されました．また，プレマン・ディナラ氏が会計検査委員会の議長として任命されました．

理事会は，退任する議長や副議長の貢献に感謝しました（**図1，2**）．

2．モナコ ITER 国際核融合エネルギーデー（MIIFED2013）開催

12月3日～5日の3日間，モナコ公国のグリマルディ・フォーラム会議場において，ITER機構の主催，モナコ公国後援のもとモナコITER国際核融合エネルギーデー（MIIFED）2013が開催されました．モナコ大公アルベール2世の臨席のもと本島ITER機構長による開会挨拶，アルベール大公のオープニングスピーチにより会議がスタートしました（**図3**）．MIIFEDは，ITER計画や核融合研究開発に対する産業界の理解・参加を促進することを主な目的として開催され，今回は2010年に続いて2回目であり，欧州を中心にITER参加各極から約400名の参加者がありまし

図1　第13回 ITER 理事会議事風景．

図2　日本の理事会メンバー．

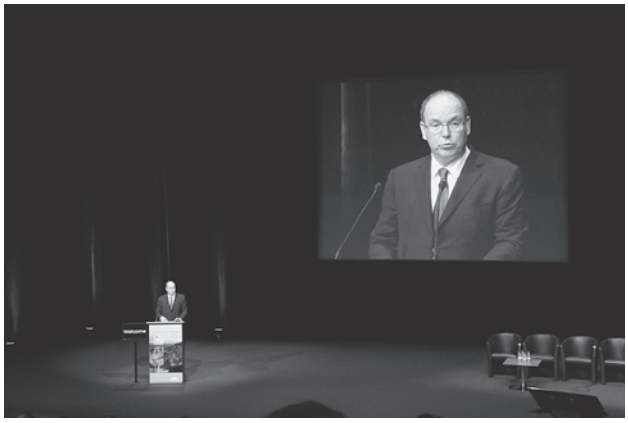


図3　MIIFED でのアルベール大公のご講演.

た．2日目以降はラウンドテーブルと呼ぶパネル討論形式で，ITER 機器の調達に参画する各極産業界を中心に政府，自治体，研究機関，極内機関関係者が ITER 機器の製作技術から原型炉，世界のエネルギー問題まで，幅広いテーマで議論を行いました．日本からは，藤木文部科学審議官，高津 ITER 理事会議長らが登壇しました．またロビーでは企業，自治体，極内機関の展示ブースが多数設けられ，情報交換，意見交換の場となりました．

3．カナちゃん文庫の贈呈式がマノスク国際学校にて開催

多数の ITER 機構職員が居住するマノスク市にあるマノスク国際学校に那珂研究所から日本語の図書を寄贈しその贈呈式が行われました．11月にマノスク市を訪問した原子力機構那珂研　森所長から，日本語セクション生徒，先生および保護者の見守るなか，“カナちゃん文庫”の目録（509冊分）をマノスク国際学校のベルナール・フロンザック校長先生に手渡しました（**図4**）．日本語セクション生徒からは，お礼の手紙をいただきました．

4．ITER 計画の展示と ITER 機構職員募集説明会の実施

原子力機構では，我が国から ITER 機構への職員の応募を促進する活動を行っています．その一環として，9月の日本原子力学会（八戸工業大学），機械学会（岡山大学），12月のプラズマ・核融合学会（東京工業大学），低温工学・超電導学会（名古屋市・ウィンクあいち）の4つ展

図4　カナちゃん文庫の贈呈式　マノスク国際学校にて.

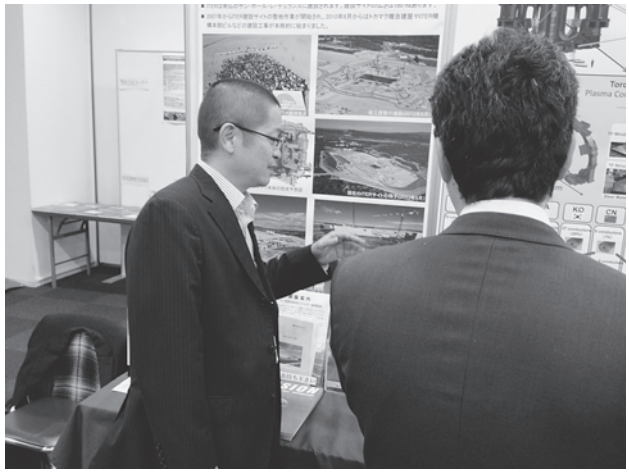


図5　低温工学・超伝導学会における ITER 展示ブースの様子.

示会に出展しました．展示ブースでは，来訪者に核融合，ITER などに関する資料を配布し，ITER 計画について説明するとともに，ITER 機構職員募集および登録の案内を行いました．ブースには，3Dテレビや ITER 模型（100分の1スケール），核融合関連施設の写真集，パンフレット等を展示しました．展示ブースは多くの学会参加者に興味をもってもらうことができ，ITER の進捗状況から調達機器の技術的な部分まで，多くの質問が寄せられました．また，学会会場のため参加者には学生も多く，熱心に説明を聴いたり，研究所の見学に興味をもってくれるなど，若い世代にも核融合研究についてアピールすることができました（**図5**）．これらの詳細については那珂 ITER ウェブサイト（http://naka-www.jaea.go.jp/ITER/index.html）の「ITER 機構職員募集説明会について」をご覧ください．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

インフォメーション

ITER だより(44)

1．臨時 ITER 理事会開催：ITER 理事会がプロジェクト運営改善策を承認

ITER 協定に規定され 2 年ごとに実施される第 3 回の内部運営評価の勧告に対応するため，ITER 計画のガバナンス機関である ITER 理事会は，2014年 2 月13日にフランスのサン・ポール・レ・デュランスにおいて臨時の会合を開催しました．会合での議論の結果，理事会は全ての勧告に対応した運営改革の実施を全会一致で承認しました．これらの改革は，ITER 機構，各国内機関，ITER 理事会およびその補助機関の運営を対象に，プロジェクト全体の運営及びガバナンスが，プロジェクトの次の段階に求められる挑戦と要求に確実に適合するよう行うものです．ITER 理事会は，全ての改革が短中期に適切に実施されることを確実なものにします（**図 1，2**）．

2．ダイバータ・プロトタイプのエフレモフでの試験完了

原子力機構では，2009年 6 月に ITER 機構とダイバータ外側ターゲットの調達取り決めを締結し，これまで実機用ターゲット製作のためのクォリフィケーションの一環として，外側ターゲット実規模プロトタイプの製作を行ってきました．2013年10月には実規模プロトタイプ用プラズマ対向ユニット 2 号機の製作を完了し，調達取り決めに基づいてロシア国内機関の所有する高熱負荷試験装置（ITER Divertor Test Facility; IDTF エフレモフ研究所に設置）にて 2 回目の高熱負荷試験を実施しました．**図 3** および**図 4** にプラズマ対向ユニット 2 号機を組み込んだテストアセンブリの外観を示します．プラズマ対向ユニット 2 号機では直線状のターゲット部の表面保護材は炭素繊維複合材（CFC 材），湾曲したバッフル部にはタングステンを使用しています．高熱負荷試験では，CFC 材製ターゲット部に対して熱負荷 10 MW/m^2 で1000回，さらに 20 MW/m^2 で500回の繰り返し加熱を実施し，タングステン製バッフル部に対して熱負荷 5 MW/m^2 で1000回の加熱を実施しました．その結果，プラズマ対向ユニット 2 号機は，上記の実験条件での繰り返し加熱に対して除熱性能の劣化に伴う表面温度の

図 1　臨時 ITER 理事会議事風景．

図 2　日本の理事会メンバー．

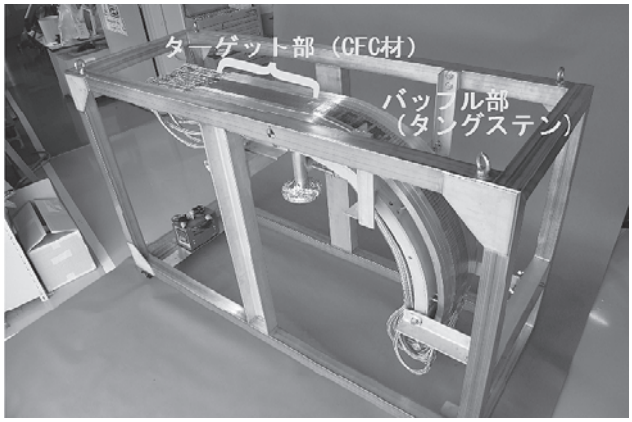


図 3　プラズマ対向ユニット 2 号機を組み込んだテストアセンブリ．

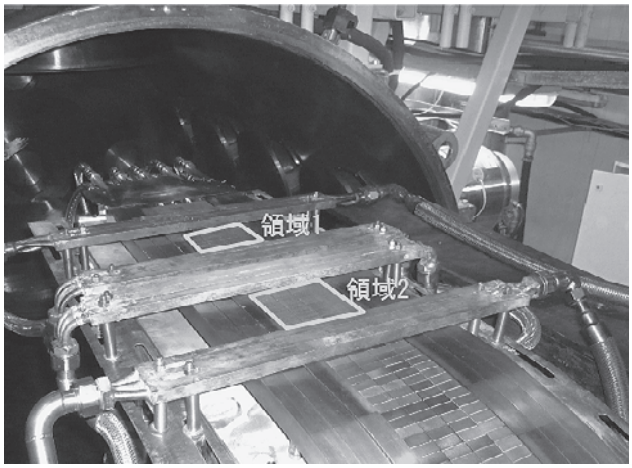


図 4　IDTF に設置中のテストアセンブリ（CFC 材製のターゲット部の 2 つの領域に対して交互に電子ビームを照射し，繰り返し加熱を行う．）．

漸増や表面保護材の割れ等の損傷もなく健全性を維持し，高熱負荷試験に合格することができました．その後，テストアセンブリはロシア国内機関より原子力機構に返送され，実機製作のためのクォリフィケーションを無事完了し，日本の優れた技術力を証明することができました．

3．ITER トロイダル磁場（TF）コイルのトランスファ検証試験を完了

原子力機構は，調達を担当するITER向けTFコイルの製作にあたり，TF コイル製作装置の製作を進めています．

このITER TFコイルの製作では，超伝導導体をD形状に成型した巻線を構造体であるラジアル・プレート(RP)の溝に挿入するトランスファと呼ばれる作業が必要となります．この時，１本の導体を用いて２層の巻線を作る必要があり，また作業中に超伝導導体に加わる歪を 0.1% 以下として超伝導導体の性能劣化を防ぐために，トランスファ装置には高精度で３次元的に稼動する特殊な機構が備わっています．

今回，実機 TF コイル製作用のトランスファ装置を製作し，検証試験において巻線，RP および装置が互いに干渉することなく巻線が RP の溝に挿入され，この時超伝導導体に加わる歪が 0.1% 以下であることを確認しました．これにより，実機 TF コイル巻線のトランスファ作業が可能であることを確証（**図５**）し，いよいよ実機TFコイル巻線のトランスファ作業が開始されることとなりました．

4．中心ソレノイド(CS)用ダミー導体を米国に出荷

日本は，中心ソレノイド（CS）用超伝導導体の調達責任を有しており，ITER 機構と2009年12月に調達取り決めを提携し，その試作・製作を実施しています．CS 導体はステンレス製コンジットを用いたケーブルインコンジット

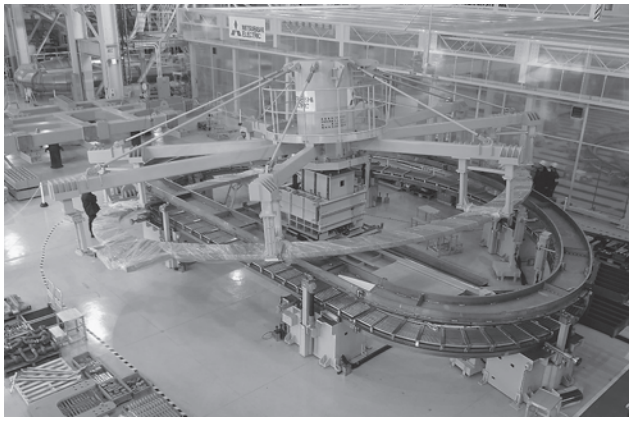


図５　検証試験中のトランスファ装置．

（CIC）導体であり，Nb3Sn 超伝導素線を多段で撚り合わせた撚線を用いています（**図６**）．導体長は最大 918 m であり，総量49本必要です．これらの導体からCSコイルを製作する作業は米国が担当しており，日本で製作した CS 導体は米国に海上輸送する必要があります．

米国はCSコイルの製作R&Dの一環として，ダミー導体を用いて導体巻き線技術を開発する予定です．ダミー導体は，実際の超伝導導体と同じ製造工程で同じ長さの銅線を用いて製作した導体です．日本はこのダミー導体の製作も担当しており，本年１月末に 930 m のダミー導体を北九州市の港から米国西海岸のロングビーチ港に向けて出荷しました（**図７**）．現在，超伝導線を用いた実物導体の製作も順調に進んでおり，最初の超伝導導体については出荷前の性能検査を行っています．この超伝導導体の米国への出荷は本年６月頃を予定しています．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

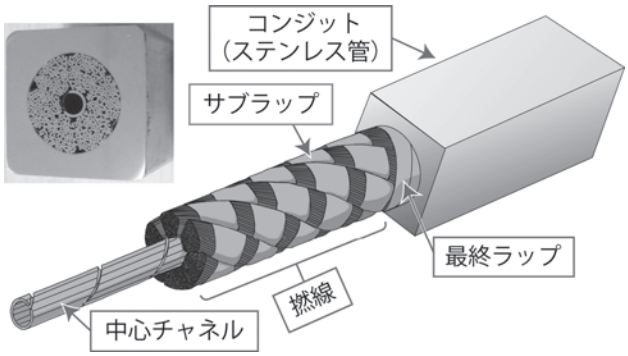


図６　ダミー導体の米国への出荷．

図７　CS 用超伝導導体．

インフォメーション

ITER だより(45)

1．製作性を考慮したダイバータカセット

原子力機構ではITER機構との調達取り決めにもとづき，ダイバータ外側ターゲット実規模プロトタイプの製作を行ってきました．これまでに実規模プロトタイプ用プラズマ対向ユニット（PFU）の評価試験（高熱負荷試験）を2回実施し，合格することができました．このPFUを固定し，冷却水を供給するためのマニフォールドの役割をもっているのがステンレス製支持構造体（SSS）です．SSSは高強度のステンレス鋼（XM-19，SS316L(N)-IG）を用いますが，原子力機構では内部の流路構造を工夫して，より製作しやすい構造にするための検討を行いました．ITER機構の詳細設計（Model-IO）では，ステンレス鋼板の溶接構造となっており，**図1**(a)に示すような広い水室をもっています．原子力機構が検討している構造（Model-JAEA）は，溶接部の長さを短くして溶接変形を抑制することを狙い，主にステンレス鋼鍛造材をドリルで繰り抜いた構造となっており，**図1**(b)のような流路になっています．本構造ではプラズマ対向ユニットへの冷却水供給部の近傍まで，4本の配管が伸びる構造となっており，プラズマ対向ユニットの流路毎の流速が不均一となることが懸念されました．ITERダイバータでは流路毎の流量のバラつきを±10%以内とすることになっており，それぞれのモデルの3次元流体解析を実施して比較しました．**図2**はPFU各流路の流量を示しています．この結果から明らかなように，Model-JAEAはModel-IOに比べて流量配分のバランスに優れ，流路毎の流速のばらつきも小さいということが示され，本構造を実規模プロトタイプ製作に採用するだけでなく，ITER機構が作成中のフルタングステンダイバータの詳細設計にも反映される見通しとなりました．

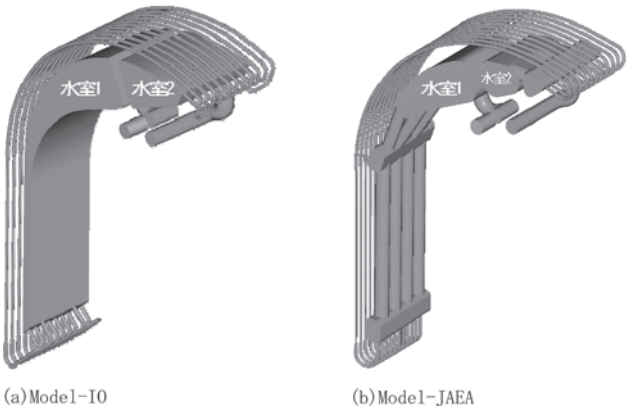


図1　ITER機構の作成した詳細設計（Model-IO）と原子力機構の提案する構造（Model-JAEA）
流体解析用モデルのため，構造材ではなく冷却水の存在する流路がモデル化されている．

2．HVブッシングの大口径FRP絶縁管を製作し，ITER要求性能（1段当たり200 kV，1時間保持）を達成

原子力機構は，日本国内機関として，ITERの中性粒子入射装置（NBI）のうち，1 MV電源高電圧部およびHVブッシングの調達を担当します．現在，ITER NBIに先立ち，NBI技術の実証を目的としたITERと同規模のITER中性粒子ビーム実機試験施設（NBTF）をイタリア・パドヴァに建設中です．国内においてもNBTF用機器の製作が進行中です．

HVブッシングは，最大1 MVの高電圧導体を真空中のビーム源（負イオン源，加速器）まで引き込むために電源の伝送ラインの末端に取り付けられる絶縁碍子であり，絶縁破壊を起こすことなく動作する安定性が求められます．また，一般の電力用機器として用いられるブッシングとは大きく異なり，1台のブッシングで0.2〜1 MVの5つの異なる電位の導体群を同時に引き込む過去に例のない挑戦的な機器です．

HVブッシングでは，コバール（ニッケル合金）とロウ付け接合した大口径セラミックリング（内管）と繊維強化プラスチック（FRP）リング（外管）を二重に組み合わせた絶縁管を5段積み重ねて1 MVを絶縁します．ITERでは，FRPリングをトリチウムの閉じ込め境界としており，セラミックリング破損時にも機器の重量（約60トン）や地震加速度（最大2 G）を支持しつつ，周囲との圧力差（0.6 MPa）に耐える気密性を維持し，トリチウムを内部に閉じ込める高い信頼性が要求されます．

これまでに，HVブッシングの実現に向けて，HVブッシングの要素部品である世界最大口径のセラミックリングの製作や同リングとコバールのロウ付け技術を確立してきました．他方，大型FRPリングは，従来大気圧下で内部を真空にして使用していましたが，ITERでは1段あたり最大で直流240 kVの電気絶縁に加えて，従来の使用環境に比べ過酷な内外の圧力差最大9気圧に耐える強度が求められま

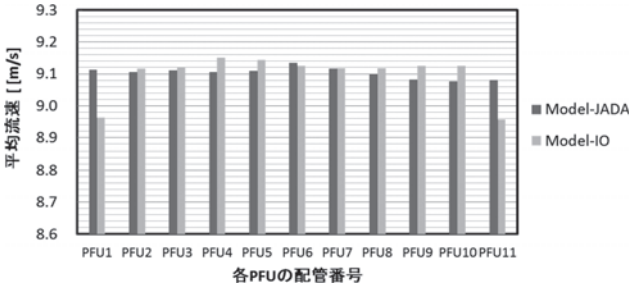


図2　各PFU（PFU 1 〜PFU11：0.5カセット分に相当）の流速の比較
Model-JAEAの方がModel-IOに比べて各PFUの流速の差が小さく，流れのバランスが良い．

す．これらの要求を満たす大型FRPリングの製法の確立が課題でした．そこで，ガラス繊維製シートを管状に巻いて形成することにより十分な機械強度を確保し，また電気絶縁を劣化させるFRP中のボイドを除去するために，真空中でガラス繊維に樹脂を含浸させ，加熱して硬化，成形する「真空含浸法」を採用しました．大型で厚肉ゆえガラス繊維の巻き付け力が不均一となり，熱硬化時に発生する力が不均一となって割れを生じることが懸念されましたが，ITER用と同サイズ（外径1.76 m，肉厚55 mm，高さ350 mm）のモックアップの試作を通して，ガラス繊維を均一に巻きつけるジグを開発し，また，硬化時の温度履歴を最適化することで，割れの発生を回避する製作手順を見出しました．さらに，このような試作検討を積み重ね，実物大モックアップ（**図3**）を試作して性能試験を実施した結果，ITERで要求される耐電圧性能（直流240 kVを連続1時間保持，および直流220 kVを連続5時間保持），並びに内外の圧力差9気圧に耐える機械強度と気密性を実証しました．これを受けて，ITER用HVブッシング用FRPの製作手法を確立し，量産を開始しました．

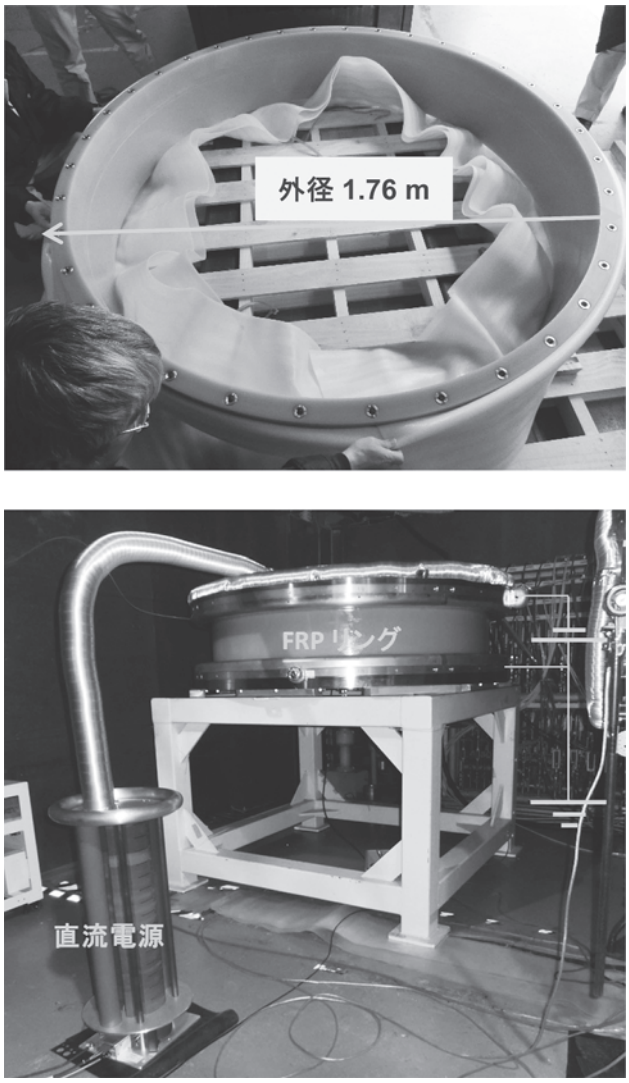


図3　試作したHVブッシング用FRPリング（上）と耐電圧試験装置の様子（下）．

3．ITER計画の展示とITER機構職員募集説明会の実施

原子力機構では，我が国からITER機構への職員の応募を促進する活動を行っています．その一環として，3月の日本原子力学会（東京都市大学）の企業展示会に出展しました．展示ブースでは，来訪者に核融合，ITERなどに関する資料を配布し，ITER計画について説明するとともに，ITER機構職員募集および登録の案内を行いました．ブースには，現在のITERサイトの進捗状況を紹介したポスター，核融合関連施設の写真集，パンフレット等を展示しました（**図4**）．展示ブースは多くの学会参加者に興味を持ってもらうことができ，ITERの進捗状況から調達機器の技術的詳細まで，多くの質問が寄せられました．また，学会会場のため参加者には学生も多く，熱心に説明を聴いたり，研究所の見学に興味を持ってくれるなど，若い世代にも核融合研究についてアピールすることが出来ました．詳細については那珂ITERウェブサイト（http://naka-www.jaea.go.jp/ITER/index.html）の「ITER機構職員募集説明会について」をご覧ください．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図4　日本原子力学会（東京都市大）におけるITER展示ブース．

1．第14回 ITER 理事会開催： プロジェクトが前進する中で理事会は ITER の進展と挑戦的課題を評価した

2014年 6 月18，19日に，ITER 機構のガバナンス機関である ITER 理事会がフランスのサン・ポール・レ・デュランスで会合を行いました．この 2 日間の会合に，7 つの ITER 参加極－中国，欧州連合，インド，日本，韓国，ロシア，米国－の全てから，上級代表がロバート・アイオッティ議長（米国）の下，一同に会しました（日本からは土屋定之文部科学審議官が代表団長として出席）（**図 1，2**）．

理事会は，ITER 建設の進捗に留意しました．2013年11月に開催された理事会以来，計測建屋の基礎部が完成し，トカマク建屋の基礎部の鉄筋補強は完了間近となり，クライオスタットの現地作業建屋も完成しました．また，ITER 本部建屋の拡張部分は2014年10月から利用可能となります．主建屋とサイトのインフラに関する契約がすでに締結され，今年末までに組立建屋及び現地サービス建屋の建設作業が開始される予定です．主要機器の到着に向けて，10,000 m^2 の保管倉庫が計画されています．

7 つの全ての参加極は，超伝導コイル，真空容器，クライオスタットを含む，重要機器の製作の進捗報告を行いました．また，参加極は，それぞれの活動及び調達の現状と，スケジュールの更新を最終的なものにしていくことの必要性について議論しました．理事会は，スケジュールの遅延拡大を止めるために更なる努力が必要な点を強調し，ITER 機構及び参加極に必要な措置をとることを指示しました．

理事会は，ITER 機構による事業運営を改善するためのアクションプランの実施状況のレビューを行いました．理事会はまた，事業の次の段階における挑戦的課題及び必要事項に適切に対応した全体事業運営のために，ITER 機構と国内機関との更に密接な協力の重要性を強調しました．

図 1　第14回 ITER 理事会メンバー（ITER 機構提供）．

図 2　会議風景（前列右は日本代表団長の土屋文部科学審議官）．

2．ITER トロイダル磁場（TF）コイルの実機巻線作業に着手

原子力機構は，調達を担当する ITER向けTFコイルの製作にあたり，実規模試作及び TF コイル製作装置の製作をメーカと協力して進めています．これまでに，巻線作業，冷媒入口部及びジョイント部の施工，トランスファ，導体絶縁の各装置の検証を完了して，3 月末から実機 TF コイルの巻線作業を開始し，これまでに 3 体のダブルパンケーキの巻線作業を完了しました（**図 3**）．これらの全てにおいて，巻線の導体長さが管理基準である ±0.01% を満足していることを確認しました．

TF コイルの製作では，導体の超伝導生成のために650℃で約100時間の熱処理をする必要があります．一定の高性能超伝導を確保するためには，650 ± 5 ℃で温度を保持する必要があります．今回，実機 TF コイル製作用の熱処理炉を製作し，検証試験において650 ± 5 ℃を十分に満足することを確認しました．これにより，実機 TF コイル巻線の熱処理作業に向けた最終準備段階に進んでいます．

3．CS 導体米国への引き渡しを開始

ITER 参加極間で国際合意された ITER 用機器の製作分担に基づき，日本は中心ソレノイド（CS）で用いる全49本の導体の製作を行い，米国はこれら導体を用いた中心ソレノイドの製作を担当します．原子力機構は CS 用導体の試

図 3　製作を完了した実機 TF コイル用の巻線．

作を2012年から開始し，このたび，最初の５本の導体が北九州の工場で完成しました．同導体は，６月25日に北九州港響灘において次の製作工程を担当する米国へ引き渡され，米国カリフォルニア州ロングビーチに向けて貨物船で輸送が開始されました．これにより，日本が担当しているITER用機器が初めて海外に渡るという，ITERの建設における日本の貢献の重要な節目となりました．

CS導体は20年の運転期間で６万回の「繰り返し電磁力」を受けますが，2010年に実施した従来導体のサンプルを用いた試験において，「繰り返し電磁力」に対して徐々に性能が低下する技術課題に遭遇しました．この性能低下は導体を構成する一部の超伝導素線が導体内部で変形することが原因で起こることを原子力機構が見出し，ITER機構と協力して内部で超伝導素線が変形しにくい撚りピッチを短くする改良を行うことにより，技術的課題を克服し，高性能化した導体の量産に成功しました（**図４，５**）．

図４，５　完成した導体の外観と輸送船に積み込まれる木箱に入った導体．

導体の製作は2017年まで続き，定期的に米国に輸送される予定です．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

インフォメーション

ITER だより(47)

1．タングステンダイバータの高熱負荷試験

原子力機構ではITER機構との調達取決めに基づき，ダイバータ外側ターゲット実規模プロトタイプの製作を行ってきました．一方，2013年11月のITER理事会において，ダイバータの大きな設計変更が決定されました．この設計変更は，ダイバータの表面保護材（アーマ材）を，これまでの炭素繊維材とタングステンの組み合わせから，全てタングステンに変更（フルタングステン化）するというものです．これを受けて，原子力機構では，上記の調達取り決めに基づく活動と並行して，　ITER機構とのタスク契約に基づいてフルタングステンダイバータの開発を行っており，その第1段階としてアーマ材を全てタングステン（圧延材）とした小型ダイバータ試験体を製作し，ロシアのエフレモフ研究所において高熱負荷試験を実施しました．この試験では，ITERで想定される最大の定常熱負荷に相当する20 MW/m^{2}の熱負荷を繰り返し試験体表面に与え，試験体の挙動を観察しました．試験中のタングステンアーマ材の表面温度は再結晶温度（1300℃）を大きく超える約2600℃に達し，その表面は結晶粒の粗大化及び軟化に伴う塑性変形が観察されました．しかし，設計繰り返し数の3倍強に当たる1000回の繰り返しに対して，試験体は安定した除熱性能を維持するとともに，タングステンアーマ材には亀裂のような損傷は観察されませんでした（**図1**）．この高熱負荷試験の結果，原子力機構が製作した小型ダイバータ試験体6体全てがITERで要求される熱負荷条件を満足することが実証され，タスクに基づく開発の第2段階となる実規模のダイバータ試験体の製作と試験に移行することとなりました．実規模ダイバータ試験体は2014年度中に製作を完了し，2015年度前半にエフレモフ研究所において高熱負荷試験を実施する計画です．

図1　高熱負荷試験後の小型ダイバータ試験体で観測されたタングステンアーマ材の塑性変形（高熱負荷試験では中央の3枚のアーマ材表面を電子ビームで繰り返し加熱した．エッジ部分が湾曲し，隣同士のアーマ材が接触していますが，目視可能な亀裂等は観察されませんでした）．

2．ITERビジネスフォーラム2014の開催

2014年7月1－4日に韓国・ソウルにおいて「ITERビジネスフォーラム（IBF）2014」が開催されました（**図2**）．IBFは2007年に始まり今回で4回目の開催で，参加企業は120社，参加者は約220名でした．内訳は，欧州と韓国がそれぞれ全体の40%，30%を占め，日本からは，原子力機構から3名，産業界の6社から14名が参加しました．ITER機構からITERプロジェクト全体の進捗状況，各国の国内機関からは担当する機器の調達活動の状況についての紹介があり，また，各国で調達に参画している企業から最新の進捗状況が紹介されるなど，全体で33件の発表がありました．日本からは，原子力機構那珂核融合研究所の草間ITERプロジェクト部長からの日本の調達活動全体の紹介に加え，超伝導コイルのセッションにおいて，三菱重工㈱，㈱東芝，及び大同特殊鋼㈱からトロイダル磁場コイルやコイルケース等の製作状況が紹介され（**図3**），日本での製作の進展が大変注目されました．また，原子力機構と上記

図2　フォーラムでのITER機構及び国内機関代表者．

図3　ITERビジネスフォーラム2014の様子における日本からの発表．

3社がブースを開設し，各々の調達活動を紹介しました．

IBFの重要な目的の一つは，企業間，国内機関－企業間の情報交換，企業のITER調達活動への参入，協力の可能性の模索です．全体セッションと並行して，30分単位のスケジュールで組まれた面談が積極的に行われ，それぞれの機関，企業が公式・非公式の話合いを通してITERプロジェクトの成功に向けたパートナーシップの強化を確認した4日間となりました．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

インフォメーション

ITER だより(48)

1．イーター用超小型の130万ボルト耐電圧試験装置の完成

原子力機構は，イーター加熱用中性粒子入射装置（NBI）（建設地：フランス），及びイーターNBI実機試験施設（建設地：イタリア）に向けて，屋外に設置される巨大なNBI用電源設備全体の耐電圧試験を一括して実施可能な，従来よりも10分の1程度の大きさの超小型・直流130万ボルト耐電圧試験装置を完成した（**図1**）．

イーターNBIでは，プラズマ加熱用の100万電子ボルトの高エネルギーイオンビームを発生するために，日本が調達する100万ボルト負イオン加速電源や伝送系等と欧州が調達する負イオン生成電源を組み合わせ，全長80メートルを超える100万ボルト超高電圧直流電源設備（以下，NBI電源設備という）を製作する．従来100万ボルトを超える機器の耐電圧試験は，機器単体ごとに，水分やダストを管理した建屋内で実施することが一般的であった．また，100万ボルトの高電圧を絶縁するためには，機器と建屋の間に10メートル以上の絶縁距離が必要である．このため耐電圧試験は，機器単体の試験であっても，縦，横，高さそれぞれ数十メートルにも及ぶ広大な試験室内で行われてきた．一方イーターでは，NBI電源設備全体を一括して耐電圧試験することが求められていた．さらに，耐電圧試験装置の設置面積も，従来と比べて10分の1程度に小型化することが求められていた．

そこで，絶縁ガスを封入した圧力容器内に耐電圧試験用電源を収納して絶縁距離を短縮し，装置の小型化を図ると共に，圧力容器をNBI電源設備に直接接続して大気から隔離する構造とすることにより，耐電圧試験用電源周辺への水分・ダストの流入を抑える構造を考案した．この設計に当たり，絶縁ガスの耐電圧特性を取得し，100万ボルト高電圧の絶縁を高い信頼性で実現する絶縁ガスの仕様を定めた．

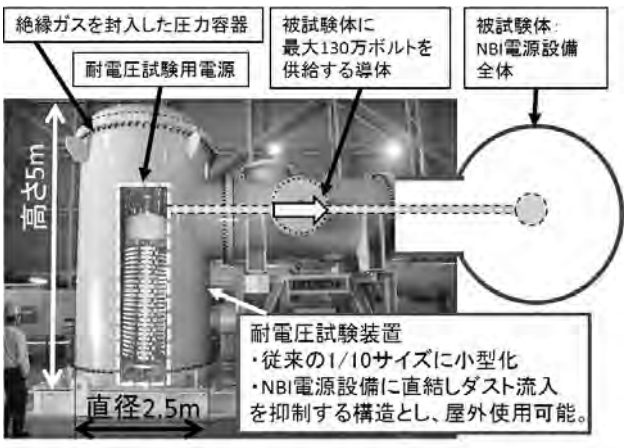


図1　従来の1/10まで小型化し，屋外で使用できる耐電圧試験装置．

さらに，ダストが存在する場合の許容電界を新たに定め，試験装置の形状や配置を決定した．その結果，従来の10分の1程度の超小型の130万ボルト耐電圧試験装置を実現し，建設サイトに設置したNBI電源設備の一括耐電圧試験を可能にした．製作は欧州の高圧ガスの規格に従って実施し，日本調達機器の中で初めて欧州規格（高圧ガス規制）に合格した．

今後本装置は，日本で製作する電源機器の耐電圧試験に使用したのち，2016年にNBTF建設地のイタリアへ輸送，2017年2月からNBI電源設備の一括耐電圧試験で使用する計画である．

2．ITER実機トロイダル磁場(TF)コイルの最初の巻線熱処理作業を実施

原子力機構は，調達を担当するITER向けTFコイルの製作にあたり，実規模試作及びTFコイル製作装置の製作及び動作検証試験をメーカと協力して進めてきた．これまでに，巻線作業，冷媒入口部及びジョイント部の施工，熱処理，トランスファ，導体絶縁の各装置の検証，及び実規模試作試験を完了した．このうち熱処理については，超伝導導体の性能を確保するために，650℃で約100時間の熱処理をするとともに，650℃においては±5℃で温度を保持する必要がある．これまでに，実機TFコイル製作用の熱処理炉を製作し，実規模での検証試験において熱処理炉が650±5℃を十分に満足する性能を有することを確認した．

上記の実規模検証試験の結果を踏まえて，本年3月末から実機TFコイルの巻線作業を開始し，これまでに5体の巻線作業を完了した．今回，最初の巻線1体について超伝導生成のための熱処理を実施し，成功裏に完了した（**図2**）．今後，熱処理を終えた巻線の形状に合わせてラジアル・プレートの最終組み立てを実施し，第1号巻線の完成に向けて，トランスファ以降の作業を実施する予定である．

図2　熱処理を完了した実機TFコイル用の第1号巻線．

3．ITER 計画の展示と ITER 機構職員募集説明会の実施

原子力機構では，我が国から ITER 機構への職員の応募を促進する活動を行っている．その一環として，９月８～10日に京都大学吉田キャンパスで開催された日本原子力学会2014年秋の大会企業展示会場に ITER サイトの建設状況を紹介するポスターや ITER 本体の組立アニメーション，核融合関連施設の写真集などを紹介するブース（**図 3**）を開設した．昼休みには，核融合関連の発表会場において時間をいただいてブース開設の紹介を行った結果，多くの学会参加者に足を運んでいただいて核融合，ITER 計画に関する理解を深めていただくとともに，ITER 機構職員募集および登録制度を御案内した．学会参加者には学生も多く，幅広い専門分野の若い世代にも，核融合研究に興味をもってもらうことができた．

詳細については，那珂 ITER ウェブサイト（http://www.naka.jaea.go.jp/ITER/index.php）の「ITER 機構職員募集説明会について」をご覧ください．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図 3　日本原子力学会（京大吉田キャンパス）における ITER 展示ブース．

インフォメーション

ITER だより(49)

1．第15回 ITER 理事会開催：ITER 建設における重要なマイルストーン

2014年11月19，20日に，ITER 理事会は，フランスのサン・ポール・レ・デュランスで会合を行った．この会合には，ITER 加盟７極－中国，欧州連合，インド，日本，韓国，ロシア，米国－の代表が，ロバート・アイオッティ議長（米国）の下，一同に会した（**図１，２**）．理事会では，最初に，本年６月に開催された前回のITER理事会会合以来，ITER 建設サイトにおける進捗として，８月にトカマク建屋の基礎部分を最終化する重要なマイルストーンが達成され，そして現在，基礎レベルの壁の建設が開始されたことが報告された．今後は，ITER クライオスタットの組立のための巨大な現地作業建屋の開所式が11月21日に行われる予定である．さらに ITER サイトでは，その他の16の建屋のための準備が本格化していく予定である．

理事会では，ITER 加盟極より，重要機器の製作に関する進捗を報告し，また全体スケジュールの更新作業を進める一方，それぞれの活動の現状を議論し，スケジュール遅延に対処するための全体的な取組みをレビューした．その他，本島修氏の後任として，ベルナール・ビゴ氏を ITER 機構の機構長に指名した．ビゴ氏は，現在はフランスの原子力・代替エネルギー庁（CEA）の長官であり，またフランスにおける ITER のための代表である．今後，ビゴ氏が2015年に任務に就くことを視野に入れて，ITER 協定に従い５年の契約を正式に結ぶ予定である．

本島修氏は，「ITER 機構の現在の機構長として，私はベルナール・ビゴ氏を次期 ITER 機構長に指名するとの理事会の決定を歓迎する．ビゴ氏は，長年の輝かしい経歴を持ち，ITER 計画をフランスがホストすると名乗りを上げた際の有力な支持者の一人であり，さらにフランスの ITER 計画実施における代表であり，ITER に深く関与してきた．彼は，巨大事業のマネジメントの経験が豊富であり，合意点を見出すことができるリーダーであり，素晴らしいコミュニケーション能力をもち，そして核融合コミュニティにおいてとても尊敬されている．私は，ビゴ氏が ITER 計画を前進させてくれると確信している．私はITER 計画の成功に向けて，引継期間を可能な限り効果的かつ有益なものにするために，彼をサポートさせていただく．」と述べた．

ビゴ氏は，「新しい段階に入る ITER 計画を率いる大きな責任を感じている．ITER 理事会が私を信頼してくれることは非常に光栄であり，理事会そして ITER に携わるすべての人々の期待に応えるよう最大限努力する」と述べた．

図１　第15回 ITER 理事会メンバー（ITER 機構提供）．

図２　会議風景（対面中央部に日本代表団）．

2．ITER NBTF 高電圧電源の整流器用圧力容器の完成

プラズマを加熱する中性粒子入射加熱装置（NBI）に先駆けて，イタリア・パドバにおいて ITER NBI 実機試験施設（NBTF）を建設中である．この NBTF において，原子力機構は100万ボルトを発生する超高電圧電源機器の調達を担当している．本電源を構成する５台の整流器のうち低電圧側の20万ボルト及び40万ボルト発生用整流器２台の製作を行ってきたが，このたび，これら整流器を収める圧力容器について，イタリア圧力容器規制に基づく水圧試験に合格し，予定通り完成に至った（**図３**）．

本整流器は，交流電力を直流20万ボルトに整流して出力するものであり，本機器を直列に５つ接続することで最大100万ボルトを発生する．イーターサイトの限られた空間に設置するため，この整流器は定格６気圧の絶縁ガスを封入した圧力容器内に高電位となる整流回路等を収納し，小型化を図っている．このため，本圧力容器には十分な耐電圧性能を有すると共に，イタリア圧力容器規制に準ずること，また特に溶接方法は欧州規格に準拠すること等が求められていた．そこで，３次元の電界解析を用いて圧力容器の外形や内部構造を設計すると共に，イタリア圧力容器規制に従って，肉厚，及び**写真１**に示す各種ポートの位置や間隔を決定し，性能要求と圧力容器規制の要求との間に齟齬のないよう留意して設計を進めた．

図 3　20万ボルト整流器用圧力容器の完成.

今回，これら整流器用圧力容器を製作し，イタリア規制当局立合いによる水圧試験を受験した結果，溶接方法が欧州規格に適合していること，また最大運転圧力（絶対圧）7.5 気圧の 1.5 倍の水圧で 5 時間以上水圧を保持し，異常のないことを確認して合格となり，本圧力容器は完成した（**図 3**）.

今後，12月中に圧力容器内部に整流回路を設置し，耐電圧試験・温度試験・出力試験を経た後，2015年 2 月末に納入予定である．その後，2015年12月までに NBTF へ輸送して据え付ける計画である.

3．ITER 計画の展示と ITER 機構職員募集説明会の実施

原子力機構では，我が国から ITER 機構への職員の応募を促進する活動を行っている．その一環として，11月の Plasma Conference 2014（新潟市　朱鷺メッセ）の企業展示会に出展した．展示ブースでは，来訪者に核融合，ITER

図 4　Plasma Conference 2014（新潟市　朱鷺メッセ）の企業展示会の様子.

などに関する資料を配布し，ITER 計画について説明するとともに，ITER 機構職員募集および登録の案内を行った（**図 4**）．ブースには，現在の ITER サイトの進捗状況を紹介したポスター，核融合関連施設の写真集，パンフレット，及び ITER 模型を展示した．ポスターセッションと同じフロアであったため，展示ブースは多くの学会参加者に訪問していただき，ITER の進捗状況から調達機器の技術的な部分まで多くの質問が寄せられた．参加者には学生も多く，熱心に説明を聴いたり研究所の見学に興味をもっていただくことができ，若い世代にも核融合研究についてアピールすることが出来た.

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

インフォメーション

ITER だより(50)

1．日本の大学から ITER 計画への貢献事例報告*)

梶田　信（名古屋大学エコトピア科学研究所）

昨年12月に開催された Plasma Conference 2014 のインフォーマルミーティングにおいて，大学から ITER 計画への貢献の事例を報告する機会をいただきました．これから，ITER 計画に貢献しよう，また貢献したいと思われている皆様の何らかのご参考になればと思い，報告させていただきます．

私は，ITER 機構（IO: ITER organization）とのエキスパート契約（協定）を名古屋大学のエコトピア科学研究所を介して結び，2011年 9 月から約 3 年間，年間およそ50日間を，フランスの ITER 機構で仕事をしてきました．ある方から，エキスパートの公募が出ていることを何気なく教えていただいたことが，そのきっかけになりました．

公募の内容は，「ITER プラズマ計測における，不純物の放射モデリングの支援」というものでした．このような契約を結ぶことが可能なのか，エコトピア科学研究所の事務への問い合わせを始めました．大学と IO などの国際機関との契約はこれまで名古屋大学内で例がないようで，事務担当の方々を困らせることになりました．

契約時に，第一に挙がってきたのが，兼職なのか兼業なのかという問題でした．兼業と兼職の違いなど考えたこともありませんでしたが，その違いの一つの側面は，兼職は報酬がなく他の職務を兼ねることで，営利事業を営むなど報酬が発生する場合には兼業にあたるということでした．兼業の場合には，休暇をとって出張をする必要が生じ，有給が20日だとすると，例え有給をすべて使ったとしても，50日の勤務は難しい．さらに，IO は半年を越える契約は個人とはできないということがわかり，兼業という選択肢は消えました．そして，名古屋大学エコトピア科学研究所と IO が契約をして，兼職として出張して IO に勤務することを認めてもらうということが可能性として残りました．

エコトピア科学研究所の事務担当の方々のご尽力をいただき，2011年の 9 月から2014年の 9 月の三年間の契約を結び，2015年 1 月現在，当初の契約を半年間延長し実施してきております．およそ 2 カ月に一度，IO に赴き，およそ，10日間ほど滞在するというスタイルで仕事を続けてきました．大学の運営費交付金を使って，通常の国際会議などで海外出張する場合と同じような手続きを行って，IO に出張します．出張時に実施したことを，Monthly report を書いて，請求書と共に IO に提出します．その後，Monthly report が IO に受領されると，IO から大学の口座に入金があり，運営費交付金としてデポジットされるという手順になります．

IO は南フランスのサン・ポール・レ・デュランスというところにありますが（当初は，カダラッシュ研究所内にあった），短期の滞在者の多くはエクス・アン・プロバンスという町に滞在しています．IO がバスを運行しており，朝と夕方に片道 2 ユーロで利用できます．

これまで私が実施してきたことは，真空容器内の光の反射のモデリングです．分光計測においては，発光種によってはダイバータ領域からの光が強烈（数桁以上）に強く，スクレイプオフ層からの発光を見たい場合に，ダイバータからの光が真空容器内で乱反射し，いわゆる迷光が実信号に比べて無視できなくなってしまう場合があります．特に，ITER においては，第一壁およびダイバータがフルメタル（タングステンおよびベリリウム）であるため，光学反射率が炭素材に比べて著しく高く，この迷光問題がこれまでの装置に比べてより大きな問題となってくる可能性があります．この問題は深刻で，その解決のためのモデリングを商用のソフトウェア LightTools を使用して行ってきました．モデリングの結果，壁が光を完全に吸収する場合に比べて，反射の影響で数桁上昇することがわかってきました[1]．また，スクレイプオフ層のみでなく，ダイバータ領域の分光においても，発光強度の不均一性がある場合には，発光強度の弱い領域の信号が乱されてしまう可能性があることもわかってきました[2]．

エキスパート契約の履行に当たっての大変な点としては，授業との調整や他の業務との調整などが挙げられます．例えば，授業を終えた後で出発するということや，業務を終えて，夜の便での出張などを行ってきました．一方で，色々な人と，しかも多国籍で，交流ができるのはその利点の一つだと思います．複数の担当者とのディスカッションなど，物事を進める上では，現地に赴くメリットはとても大きいと感じています．

大学（や研究所）で働く研究者にとっては，アカデミックな仕事をして論文を書くということが評価の指標になっており（今後，論文以外の評価指標というのも必要なのかもしれませんが），ITER 計画に貢献して，その結果のアウトプットをどう研究成果としてまとめていくかというのは重要な観点かと思います．その点においても，興味深い研究テーマが多々あり，工夫やテーマの設定によってはアカデミックな成果をあげながら ITER 計画に貢献していくことが可能だと感じております．

IO にいると，日本人が少ないなあと感じることも多く，ぜひ今後，ITER 計画に参加する方が増えることを願います．大学との契約などで問題がある場合には，何かお役に立てることがあるかもしれませんので，お気軽にお問合せください．

(*：原子力機構からの要請による．)

参 考 文 献

［1］S. Kajita, E. Veshchev, S. Lisgo *et al.,* "Influence of stray

light on visible spectroscopy for the scrape-off layer in ITER", Plasma Phys. Controlled Fusion **55**, 085020 (2013).
［2］S. Kajita, E. Veshchev, S. Lisgo *et al.,* "Influence of stray light for divertor spectroscopy in ITER", J. Nucl. Mater. (*in press*).

2．イーター・トロイダル磁場コイル用高性能超伝導導体の製作を完了

核融合研究開発部門は，イーター（ITER）の主要機器であるトロイダル磁場コイルに用いる高性能な超伝導導体（以下「導体」という.）を開発し，量産技術の確立により日本が分担する全導体の製作を完了した（**図 1**）．昨年12月までに，製作した導体の評価試験によりイーター機構が良好な性能を承認して，製作の完了が確定された．

原子力機構はイーター参加 7 極中で最も多い全体の25%の導体製作を担当し，2007年から世界に先駆けて導体の製作を開始し，製作を進める中で長尺化による新たな技術課題を解決して量産技術を確立した．製作した導体は前例のない長さで，総延長 22 km，総重量は215トンに達した．

導体の製作完了はイーター建設における重要なマイルストーンの達成であり，原子力機構では，完成した導体を用いてトロイダル磁場コイルの製作を開始するなど，イーター建設を着実に進めている．詳細は，以下の URL を参照いただきたい．

http://www.jaea.go.jp/02/press2014/p15012602/

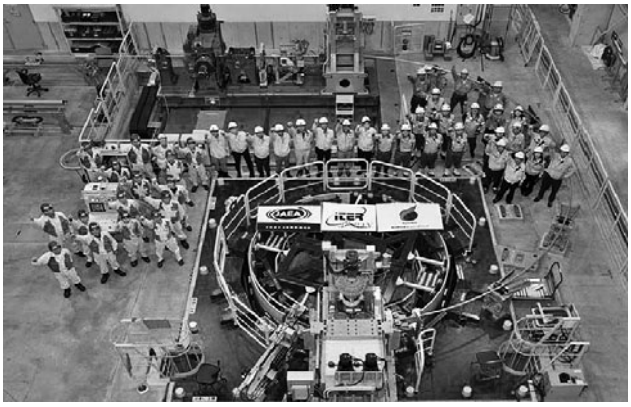


図 1　図北九州市の専用工場にて製作が完了した最後のトロイダル磁場コイル用導体．

3．第21回 ITER 企業説明会を開催

2 月 4 日，31団体から53名の参加者を迎えて，東京八重洲において第21回ITER 企業説明会が開催された．今回は，文部科学省仙波秀志研究開発戦略官より，ITER 計画，ITER サイトの建設状況，ITER 機構の職員，幅広いアプローチ（BA）活動の現状，ヘリカルおよびレーザー方式の研究開発状況，核融合エネルギーの段階的発展，原子炉に向けた現在の検討状況や核融合技術の産業応用について説明いただいた（**図 2**）．また，原子力機構の草間義紀 ITER プロジェクト部長からは，ITER 計画における日本分担機器の調達状況，ITER 国内機関としての活動内容および組織構成，日本が担当する主要本体機器に関して88%の調達取決めが締結されたことが説明された．さらに，初プラズマまでの調達スケジュール，ジャイロトロンの調達進展，ITER ブランケット遠隔保守装置の調達進展，ITER テストブランケットの開発取決め，ITER トリチウム除去系の共同調達，ITER 知的財産管理および情報の普及に関する規則など，様々な分野で原子力機構の各発表者が説明した．講演後には参加された企業の方から多くの質問があり，活発な意見交換が行われた．

本企業説明会についての詳細は ITER ウェブサイト（http://www.naka.jaea.go.jp/ITER/index.php）の「企 業説明会の開催について」を参照いただきたい．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

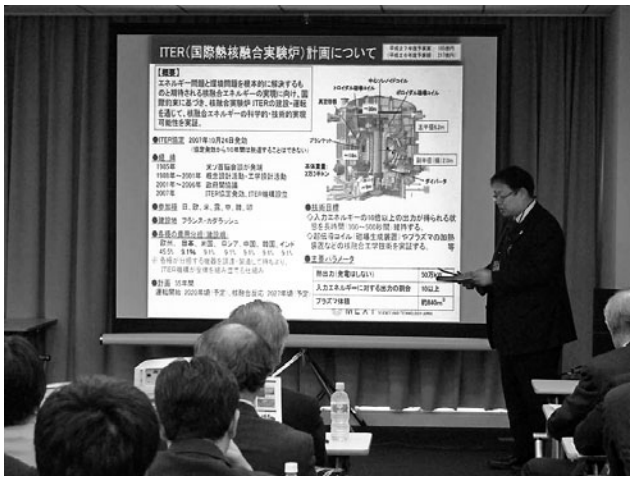


図 2　第21回 ITER 企業説明会の様子．

インフォメーション

ITER だより(51)

1．臨時 ITER 理事会開催：ベルナール・ビゴ博士が新 ITER 機構長に

ITER 理事会は，2015年 3 月 5 日にフランスのパリにて開催された臨時理事会において，次期 ITER 機構長として本島修博士の後任となるベルナール・ビゴ博士を任命した．

ビゴ博士は，著名な科学者であり，フランスの原子力・代替エネルギー庁（CEA）の前長官であり，ITER機構長になる前は，フランスにおける ITER 代表でもあった．また，長年にわたる著名な経歴を有し，ITER 計画に深く関わってきた．大規模な計画やプロジェクトの十分なマネジメント経験を有し，ITER 参加極の間で合意点を見出すことに長けた交渉能力の高い優れたリーダーであり，核融合コミュニティから高い敬意が払われている．ビゴ博士は速やかに機構長としての職務を開始した．

2014年にスケジュール遅延に直面し，ITER 理事会は，プロジェクトの新しいベースライン（スコープ，スケジュール，コスト）を策定することを決定した．ビゴ機構長は，本島機構長の下で開始された新しいスケジュールの策定作業を継続し，新しいベースラインを2015年11月の ITER 理事会会合で示す予定である．

プロジェクトが，設計の完了から本格的な建設段階に移行することから，本島博士からその後任であるビゴ博士に早急に引き継ぐことが必要となった．ビゴ博士から名誉 ITER 機構長の称号を授与された本島博士は，重要かつ非常に複雑な国際的な挑戦に多大な貢献を果たし，ITER 理事会に感謝の意を表しつつ，ITER を離れることとなった．

本島博士は次のように述べた．「ITER 理事会がビゴ博士を次期機構長に任命したことは喜ばしく，心より祝福したい．今日までの皆様の暖かいご協力に感謝します．また，名誉機構長の称号をいただけたことを大いに誇りに思う．」

ITER 理事会は，ビゴ博士が提案したアクションプランを承認した．このアクションプランは，直近の運営評価の勧告内容に沿って対処するものであり，プロジェクトのベースラインを改訂することに重点を置いている．

ビゴ博士は次のように述べた．「世界は，長期に渡る持続的なエネルギー供給を可能にする革新的な技術を必要としている．磁場閉じ込めによる核融合は，最も有望な選択肢の一つである．私は，イノベーションを起こすことを目的とする ITER のような大規模で野心的な国際研究プログラムに貢献できることを非常に誇りに思う．私は，必ず ITER 参加極の期待に応えるべく，最善を尽くす．」

2．ITER 用 NBI の20万ボルト直流発生器の完成

日本は ITER のプラズマを加熱・電流駆動する中性粒子入射装置（NBI）の超高電圧電源機器（直流100万ボルト，60アンペア，連続 1 時間運転）を調達する．今回，このうち20万ボルト直流発生器（**図 2**）の製作を完了し，ITERの要求値である定格電圧の1.2倍に相当する24万ボルトで連続 1 時間の出力を実証した．これは，ITER 用 NBI の調達において，最初の高電圧電源機器を完成させたものであり，重要なマイルストーンを工程通りに達成した．

この直流発生器は，昇圧変圧器とダイオード整流器から構成され，入力電圧である交流4,500ボルト（150 Hz）を昇圧・整流して，直流20万ボルトを出力するものであり，直流発生器 5 段を直列接続して直流100万ボルトを発生する．従来の NBI 電源との大きな違いは，電圧が 2 倍以上高いだけでなく，1 時間の長時間運転にある．変圧器内部の絶縁紙と絶縁油から成る多層絶縁体に直流電圧を印加した場合，時間経過とともに高抵抗の絶縁紙に高い電圧が偏って印加され，従来 NBI の数十秒の運転に比べ，ITER の 1 時間連続運転では電界強度が 5 倍高くなり，放電に至る危険性があった．そこで，この電圧の偏りを防ぐよう，絶縁紙の厚みや構造を工夫し，R&D を通じて長時間に渡り直流電圧を維持する技術を確立し，本機器に適用した．

本機器の完成を皮切りに，今後は，残りの直流発生器 4 台及び100万ボルト伝送ラインを製作し，イタリアに建設中の ITER 用 NBI 実機試験施設に輸送して，2015年12月から据付け工事を開始し，NBI のビーム生成試験に用いる．

図 1　臨時 ITER 理事会出席者（ITER 機構提供）．

3．先進計測開発棟の建設

原子力機構は，那珂核融合研究所の東地区に，日本が調達を担当するITERプラズマ計測装置（マイクロフィッションチェンバー，ポロイダル偏光計，周辺トムソン散乱計測装置，ダイバータ赤外サーモグラフィー，ダイバータ不純物モニター，ダイバータ熱電対，上部ポート統合機器，下部ポート統合機器）の開発を目的として，先進計測開発棟を建設した（**図3**，**4**）．建設工事は平成26年3月初旬に着工し，その後7月に建屋基礎工事，8月にアクセス道路造成工事，9月には鉄骨工事が完了した．平成26年1月に外壁パネル取付け及び屋根取付けを完了し，その後内装工事，電気設備工事及び機械設備工事を進め，平成27年3月中13日に竣工し，4月より運用を開始した．

先進計測開発棟は鉄骨造，地上1階であり，計測開発室の大きさは，幅25 m，長さ80 m，高さ12.5 mである．10トンを超える大型機器の取り扱いのため，20トン／3トンクレーン及び大型搬入シャッター（開口：5 m×5 m，2カ所）を設けている．また精密光学機器／電子機器を取り扱えるよう，全体空調換気設備を有している．先進計測開発棟内では，各計測装置それぞれの詳細設計，最終設計及び製作の各過程で必要となる要素機器の開発試験，システム組立調整，総合性能試験及びITER機構への発送前の

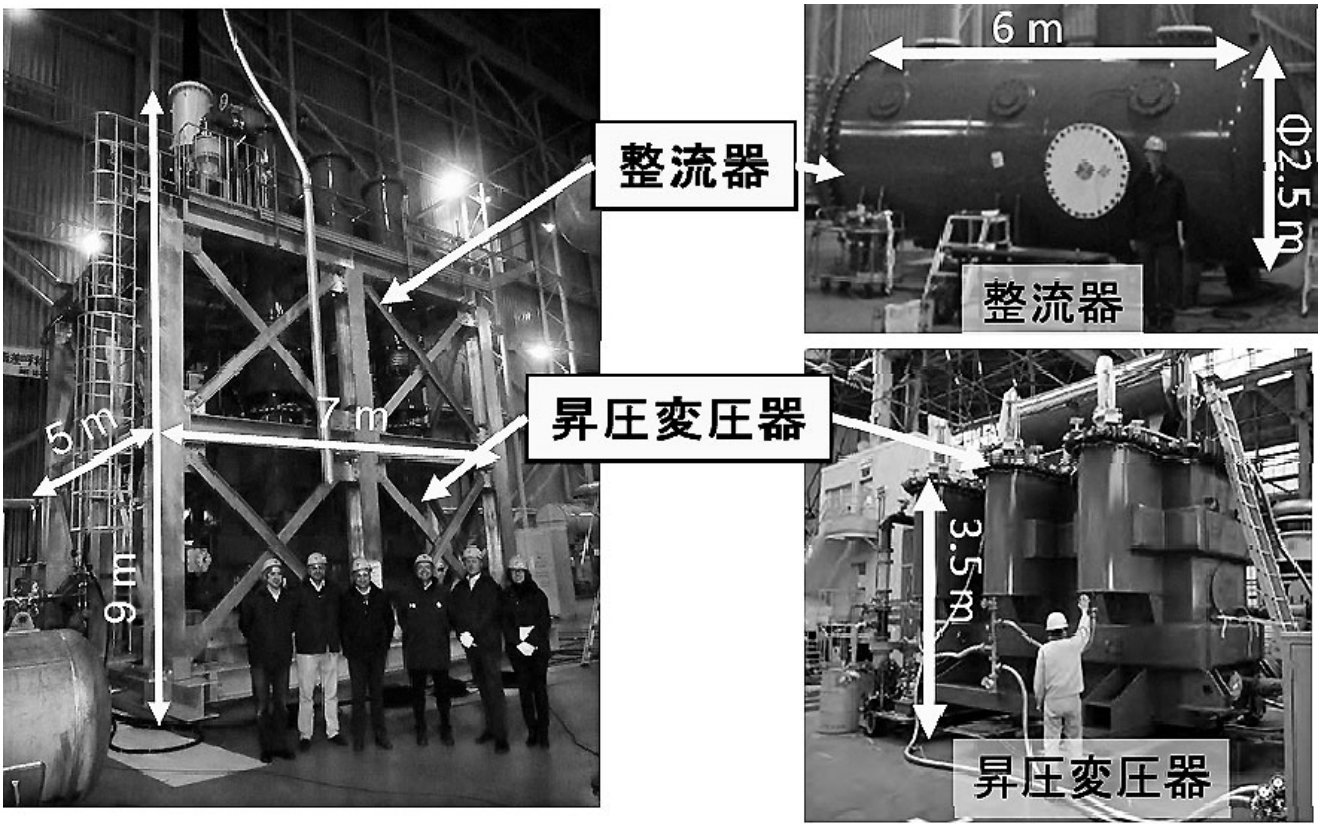


図2　20万ボルト直流発生器と，これを構成する昇圧変圧器と整流器．

図3　先進計測開発棟の外観．

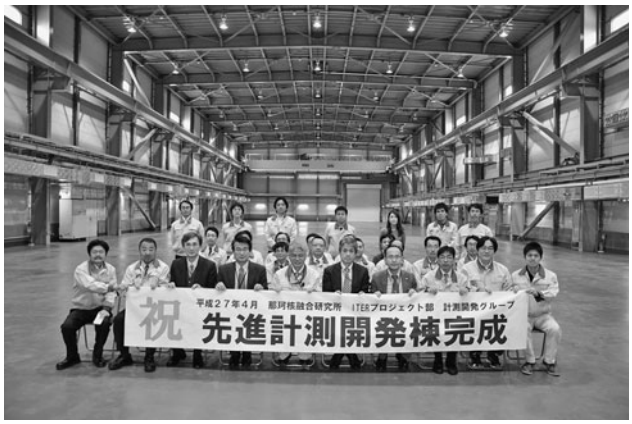


図4　計測開発室の内部で完成記念撮影．

図５　歓迎挨拶をするベルナール・ビゴ新 ITER 機構長.

図６　日本国内機関の展示ブースでの説明.

最終検査等を並行して行うことができるよう，計測装置ごとに開発エリアを割り当てている．特に，ポロイダル偏光計エリアには，遠赤外レーザー開発用のレーザー室を，周辺トムソン散乱計測装置エリアには，YAG レーザー開発用のレーザー室を設置する．また，受変電設備を収納する電気室，消火設備を収納する機械室，開発実験データの整理を行うためのデータ整理室が附設されている．

５月には，韓国国立核融合研究所（NFRI）に貸与して KSTAR トカマク装置での確証試験を行っていた ITER 原型 YAG レーザー装置が返納される．返納後はレーザー室内での据付け調整を経て，今年度中に ITER 周辺トムソン散乱計測用 YAG レーザー装置の実機開発を開始する予定である．

４．ITER ビジネスフォーラム2015の開催

2015年３月25－27日にフランス・マルセイユにおいて「ITER ビジネスフォーラム（IBF）2015」が開催された．ベルナール・ビゴ新 ITER 機構長の歓迎挨拶（**図５**）から始まったフォーラムは，2007年の初回から数えて５回目である．ITER の地元，南仏で開催された今回は，参加企業406社，参加者864名（欧州大陸：約91%，アジア（インド，韓国，中国，日本）：８%，アメリカ１%）を集めて盛況であった．日本からは，原子力機構，岡崎製作所，大同特殊鋼，東芝，東洋炭素，三菱重工，三菱電機６社から18名が参加した．ITER 機構から，ITER プロジェクト全体の進捗状況，各国の国内機関からは担当する機器の調達活動の状況についての紹介があり，また，各国で調達に参画している企業から最新の進捗状況が紹介されるなど，102件の発表があった．日本からは，原子力機構那珂核融合研究所の井上研究主席から日本の調達活動全体の報告があり，さらに日本の調達を担う国内各企業から，ダイバータ，トロイダル磁場コイルの導体，巻線及び構造物の製作状況とブランケット遠隔保守装置の製作プランが紹介され，日本での製作の進展が大変注目された．

IBF の重要な目的の一つは，企業間，国内機関－企業間の情報交換，企業の ITER 調達活動への参入，協力の可能性の模索である．原子力機構と国内企業３社が共同でブースを開設し，各々の調達活動を紹介した（**図６**）．さらに，30分単位のスケジュールで企業間のビジネス面談が積極的に行われ，それぞれの機関，企業が公式・非公式な話合いを通して ITER プロジェクトの成功に向けたパートナーシップの強化を確認した３日間となった．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

インフォメーション

ITER だより(52)

1．多田栄介前那珂研副所長が ITER 機構の副機構長に就任

那珂核融合研究所の多田栄介前副所長（**図1**）が，5月1日付けで ITER 機構の副機構長に就任した．

多田前副所長は1987年旧日本原子力研究所に入所し，超伝導コイルや真空容器，遠隔保守機器の研究開発に携わった．入所10年後には，ドイツのガルヒンクで ITER 概念設計活動に参加し，1999年からは，ITER の国内誘致のために安全規制の策定を主導するなど，工学設計活動期間中には日本のプロジェクトリーダーの役割を担い，2001年に ITER 最終設計報告書を取りまとめた．その後，ITER の日本誘致を強力に推進したが，フランスへの建設決定後，2006年には現地サン・ポール・レ・デュランスにいち早く着任し，ITER 機構の「7人のパイオニア」の一人となり，2007年から2010年まで ITER 機構の中央統合・技術部門長及びプロジェクトオフィス長という戦略的な地位を勤めた．2012年に帰国後は日本の国内実施機関長として，また那珂核融合研究所副所長並びに ITER プロジェクト部長として，日本国内での ITER 調達活動を主導するとともに，ITER 機構及び各極との連携強化に尽力してきた．

図1　ITER 機構副機構長多田栄介氏．

本年3月に機構長に就任したベルナール・ビゴ氏は新体制の整備を精力的に進めており，その中で多田前副所長は，これまでの核融合と ITER 計画への揺るぎない信念を評価され，2人の副機構長のうちの1人として ITER 機構に迎えられたものである．多田前副所長は，ビゴ機構長と共に ITER 機構のシニアマネージメントチームを率い，ITER 参加極の国内機関長他，関係者間の意見調整担当，また計画管理，原子力安全保障と品質保証等の担当として，ITER 計画全体のプロジェクト管理を任されることとなった．

2．第16回 ITER 理事会開催：ITER は目に見えて進捗しているが，解決すべき重要な課題が存在

2015年6月17日から18日に，ITER 機構の統治機関である ITER 理事会が，フランス，サン・ポール・レ・デュランス市で開催された．会合には，ロバート・アイオッティ議長（米国）の下，加盟7極（中国，欧州連合，インド，日本，韓国，ロシア，米国）の全上級代表が集った（**図2**）．

各極は，幹部事業委員会を設置することにより，ITER 機構と国内機関をプロジェクト指向型組織として1つのチームに完全に統合するベルナール・ビゴ新機構長の取組に留意した．

深刻な遅延の累積を認識しつつ，事業を前に進めるため，事業目的，コスト，スケジュールを統合した事業計画の更新を目指し，作業が進められている．この更新した事業計画は，2015年11月の次回 ITER 理事会会合で議論され

図2　第16回 ITER 理事会出席者（ITER 機構提供）．

る資源を割当てたスケジュールを含む．ITER 理事会は，この資源を割当てたスケジュールはファーストプラズマを可能な限り早期に実現するよう最適化することを要請した．これまでの遅延をできるだけ回復するために，ITER 機構は，ファーストプラズマに向けた作業を行いつつ，利用可能な時間に残りの機器を最大限据え付け，本格的な運転の開始を可能な限り早く実現する．

ITER 理事会は，ITER 機構，国内機関及び各極に対して，重要／超重要機器のスケジュール遅延を止めるために，クリティカルパスとなっている機器及び設計を固めることを最優先として，引き続き密に協力していくよう要請した．

ITER 理事会はサイトを視察し，建設現場の進捗を直接確認した．その中には，今年初めにサイトに到着した高電圧の変圧器や 2 つの巨大な排水タンクといった最初の重量機器も含まれる．

2015年 ITER 運営評価を実施するジャンミン・サン教授（中国）と契約に署名した．

3．ITER トロイダル磁場（TF）コイル第 1 号巻線のトランスファ作業を完了

原子力機構は，調達を担当するITER向けTFコイルの製作にあたり，実規模試作及び TF コイル製作装置の製作をメーカと協力して進めている．これまでに，巻線作業，冷媒入口部及びジョイント部の施工，熱処理，トランスファ，導体絶縁，カバー・プレート（CP）溶接，ダブル・パンケーキ（DP）絶縁の各装置の検証，及び実規模での検証試験を完了した．このうちトランスファでは，超伝導導体を

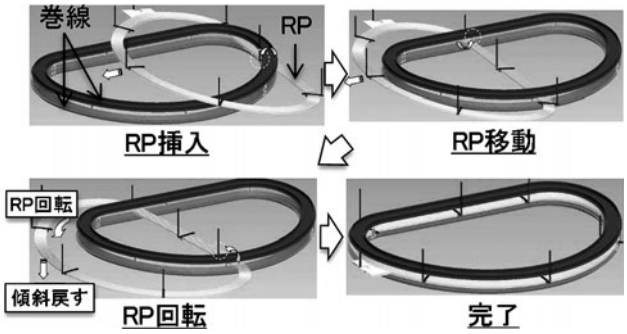


図 3　トランスファ作業の流れ．

図 4　トランスファ及び導体絶縁作業を完了した TF コイル第 1 号機用の巻線．

D 形状に成型し超伝導生成熱処理を終えた巻線をラジアル・プレート（RP）の溝に挿入する．具体的には，2 層の巻線間に隙間を設けて，この隙間に斜めに傾けた RP を挿入し，2 層の巻線間を繋ぐ箇所を通過した後に RP を水平とし，RP を回転させて巻線と RP の D 形状を合わせる作業を実施する（**図 3**）．この作業においては，超伝導導体に 0.1%以上の歪が加わるとその性能が劣化することから，超伝導導体に 0.1% 以上の歪が加わらないように，パンケーキ間の距離を約 400 mm 以下の距離に保持する必要がある．これまでに，実規模の巻線を用いた検証試験において，トランスファ作業中に超伝導導体に加わる歪の量を測定し，歪量が 0.1% 以下であることを確認してきた．

上記の実規模検証試験の結果を踏まえて，本年 5 月に実機 TF コイル第 1 号機の 1 本目の巻線についてトランスファ作業を実施し，成功裏に超伝導導体の RP 溝への挿入を完了した．また，次工程の導体絶縁の作業についても無事完了した（**図 4**）．今後，第 1 号巻線の完成に向けて，CP 溶接以降の作業を実施する予定である．

4．KSTAR での共同実験の完遂により YAG レーザーが帰国

原子力機構がトカマク環境での確証試験を行うために，韓国国立核融合研究所（NFRI）に貸与していた ITER 周辺トムソン散乱計測用原型 YAG レーザー装置が，NFRI から返却された．このレーザー装置は，2015年 5 月 8 日に NFRI の KSTAR トカマク実験棟を出発し，5 月 9 日に成田空港に到着，5 月13日に通関手続き後，5 月14日に那珂核融合研究所内先進計測開発棟へ搬入された（**図 5**）．

原子力機構と NFRI は，ITER周辺トムソン散乱計測用原型 YAG レーザー装置を用いた共同実験のための取決めを2011年11月に締結した．この取決めに基づき，原型 YAG レーザー装置（ITER だより33参照）は，2012年 4 月から NFRI の KSTAR トカマク実験棟へ移設され，2012～2014年のプラズマ実験において，トムソン散乱計測用のレーザー装置として運転された．この 3 年間に原子力機構は，レーザー装置の信頼性に係るデータを取得し，このレー

図 5　先進計測開発棟内に搬入された ITER 原型 YAG レーザー装置．木箱12箱に分けて輸送された．手前左端の木箱にレーザー光学系が搭載された光学テーブルが格納されている．

ザー装置がトムソン散乱計測に問題なく使用できることを実証できた．KSTAR トカマク実験装置は，このレーザー装置を用いたトムソン散乱計測により，電子温度・密度分布の時間変化を 10 ms 毎に計測できるようになり，H モードペデスタルの急峻な分布形状などを計測し，物理研究を進展させた．以上の成果を得て，本共同実験は昨年度終了した．

YAG レーザー装置は，12箱の木箱（総重量 7,336 kg）に分けて空輸され，陸上輸送は10トントラック 2 台で輸送された．一番大きな木箱には，レーザー光学系が搭載された光学テーブルが格納されており，木箱サイズは縦 450×横 178×高さ 153 cm，重量は 2,295 kg であった．ITER プロジェクトでは調達機器をフランスの ITER 建設地へ輸送しなければならないが，今回レーザー装置のような精密機器の輸送を経験することにより，今後の精密機械輸送のための知見も得た．

現在，先進計測開発棟内（ITER だより51参照）にレーザーの開発を行うためのクリーンルームを組み立て中であり，8 月頃完成の予定である．クリーンルーム完成後に，このレーザー装置は，クリーンルーム内へ据え付け調整され，その後，本格的な開発が行われる予定である．

5．ITER・TF コイル構造物の製作技術で苅田記念賞受賞

2015年 5 月29日に，日本鋳鍛鋼㈱と原子力機構は，「ITER（核融合実験炉）用高窒素ステンレス極厚鍛鋼品の製造技術の開発」の研究成果により，火力原子力発電の発達改善に顕著な貢献をした技術者に授与される火力原子力発電技術協会「苅田記念賞」を受賞した．受賞対象は，ITER の TF コイル構造物で使用されている極厚鍛鋼品の製造技術開発で，複雑形状，極厚，かつ，液体ヘリウム温度で均質な内部品質（機械的性質および超音波検査での透過性）を有する鍛鋼品の大量生産に成功したことが評価された．

ITER TF コイルは超伝導導体等で構成される巻線部と巻線部を収納するコイルケースからなる．コイルケースは，液体ヘリウム温度（4 K）で 900 MPa 以上の 0.2% 耐力を実現するため，高窒素を含有する極厚の高窒素オーステナイト系ステンレス鋼（316LN）鍛鋼品が必要であり，さらに，信頼性向上のための溶接部の低減，機械加工コストの削減のため，最終形状に近い極厚鍛鋼品が必要とされ，

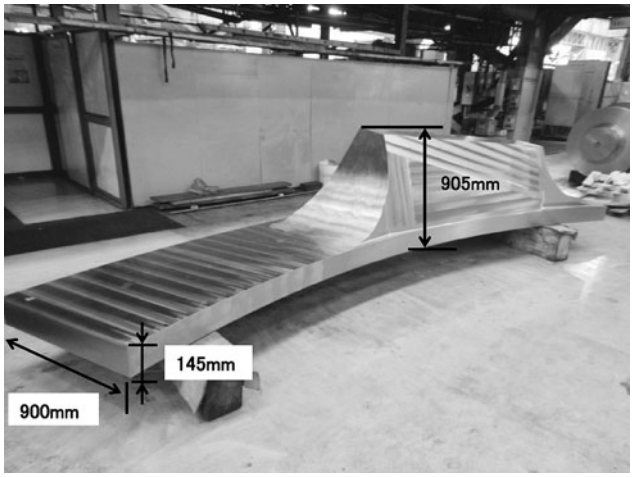


図 6　TF コイル構造物部材の最終製品（例）．

複雑形状で最大約 1,000 mm 厚さの極厚高窒素 316LN 鍛鋼品の開発が必要であった．しかし，このようなステンレス鋼極厚鍛鋼品の製作実績はなく，内部品質を確保し，かつ最終製品形状により近い形状で鍛造成形を行うことは難しいと考えられていた．

そこで，これらの課題を解決するために，原子力機構と日本鋳鍛鋼㈱は，2004年に 0.2% 以上の窒素を含有する 400 mm 厚さの 316LN 鋼の試作を実施し，液体ヘリウム温度での機械的性質を含めた内部品質を確認し，ITER 要求値を満足することを確認した．極厚かつ複雑形状への鍛造成形技術については，実験室規模での実験による検討を進めるとともに，2012年に，最終設計形状の部材を対象とした検討を行い，内部品質を確保し，かつ，最終製品により近い形状で成形する鍛造技術を開発した．さらに開発した鍛造技術の妥当性，及び液体ヘリウム温度での機械特性を含めた内部品質を，2012年に実物大の試作により確認した（**図 6**）．これらの結果を基に，2013年以降，実機向け鍛鋼品を日本の ITER 計画への貢献の一部として製造している．

上記研究開発により，鍛造後重量及び鋼塊重量を従来技術である一般的な鍛造方法に比べ，大幅に削減することができただけでなく，製造時の機械加工の低減も実現し，ITER の要求を満足する TF 構造物の製作が可能となった．本受賞は，原子力機構の液体ヘリウム温度という特殊環境下での材料特性評価技術と日本鋳鍛鋼㈱の製造技術が融合することで成し得た成果である．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

インフォメーション

ITER だより(53)

1．第 2 回日中韓 ITER 国内機関技術会合

中国，日本，韓国による第 2 回日中韓 ITER 国内機関技術会合が，7 月20－22日に京都府木津の日本原子力研究開発機構の関西光科学研究所で，日本がホスト国となって開催された．会議には各国の政府関係者も含め，中国，韓国及び日本から合計約40名が出席し，ITER 機器の製作技術に関する意見交換を行い，ITER プロジェクト成功に向けた 3 か国の強固な協力関係を再確認した（**図 1**）．

会議初日にはレセプションが行われ，各国政府関係者による式辞の中で，ITER プロジェクトの着実な進展には，3 か国の強固な協力が必須であることが共通に表明された．技術協議では，各国内機関長が第 1 回の技術会合（平成26年12月）からの調達機器の進捗報告を行い，その後，ブランケット，ダイバータ，テストブランケットモジュール，超伝導導体，超伝導コイル，真空容器，及び計測等の調達機器に係る品質保証・管理及び技術的課題に関する15件の取組み事項について，プレゼン及び議論が行われた．前回会合で項目毎に割り当てられた主担当者は，他国の担当者と密接に連携して議論を主導し，今後のアクションをまとめ上げることができた．また，3 か国の国内機関は今後統合したプロジェクトチームとして ITER 機構に品質保証・管理における共同案を提出することで合意した．

次回は来年に韓国にて開催する予定である．

2．NBTF 用高電圧電源製作の進展

ITER 計画の下，現在，ITER 用中性粒子入射装置と同等な性能を有するNB実機試験施設（NBTF）をイタリア・パドバの RFX 研究所に建設中である．原子力機構は，NBTF 用の直流発生器や電力を伝送するトランスミッションライン（TL）等，NBTF 電源の中核機器の調達を担当しており（**図 2**），直流発生器の一部の製作を完了した後に，TL の製作と工場試験を進めてきた．

TL は全長100 m，直径1.5～2 m の金属管内に電位の異なる導体が通線された構造を有している．導体間の絶縁距離を短くするために，金属管内には，高圧力（6 気圧）の絶縁ガス（六フッ化硫黄ガス：SF_6）を封入する．このため，イタリアの圧力容器規制（Raccolta VSR）に従って，金属管を設計・製作し，イタリア高圧ガス協会の許認可を得た．金属管内には，5 つもの異なる電位の導体が通されており，各導体はエポキシ製の絶縁スペーサーで金属管から支持されている．最大電位100万ボルトの導体内部にはビーム源に供給する高周波電力用同軸導体や計測信号線などが通線されている．絶縁スペーサーの長さや形状，導体の配置については高電圧導体間の電界の他，金属管内のごみの集塵効果による耐電圧低下を防止するために接地電位である金属管内底面部にも許容電界を定め，詳細な電界計算により寸法や配置が決定された．さらに，金属管の支持構造は，地震や熱伸びによる応力集中を避けるために，最大 40 mm スライドする機能を有している．

これまでに全長約 100 m の TL の 8 割の製作を終了しており，その内約 5 割に相当する部分の耐電圧試験を完了している．TL の耐電圧試験（**図 3**）では，直流120万ボルト（常用電圧の 1.2 倍）での長時間保持試験（1 時間）や電源システムの出力動特性を考慮した変動電圧印加試験等，ITER の要求性能すべてに合格した．今後残りの部分の試験を完了させ，計画通り 9 月中旬にRFX研へ輸送を開始する予定である．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図 1　7 月20-22日に京都府木津で開催された第 2 回日中韓 ITER 国内機関技術会合の参加者．

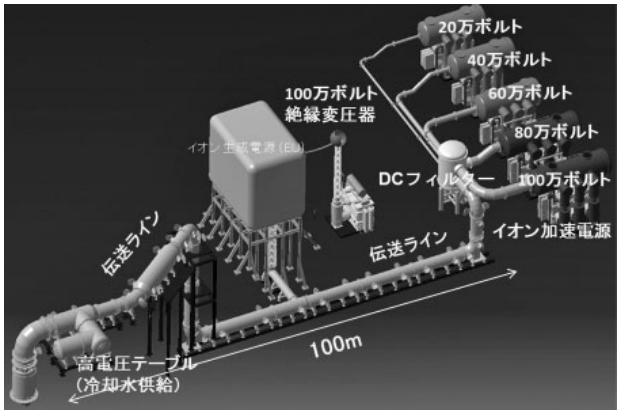


図 2　NBTF 電源システム．

図 3　伝送ラインの耐電圧試験（左）と内部断面構造（右）．

インフォメーション

ITER だより(54)

1．CS インサートコイル試験の完了

ITER 計画において日本が調達を分担する中心ソレノイド（CS）導体が，要求される超伝導性能を満たしていることの最終確認として，CS 導体を用いた試験コイル（CS インサートコイル）を製作し，原子力機構那珂核融合研究所が保有する大型超伝導コイル試験装置（CS モデル・コイル試験装置）に組込み，性能確認試験を行い，7 月末にこの試験を完了した（**図 1**）．この試験結果から，CS 導体が充分な導体性能を有することが確認できた．

CS 導体は，576本の Nb3Sn 超伝導線と288本の銅線からなる撚線が，外形49 mmの角形ジャケットに挿入された構成である．CS 導体の製作は平成24年より開始しているが，CS 実機の動作条件（磁場 13 T，電流 40 kA）での導体性能の最終確認が求められていた．

CS モデル・コイル試験装置は，ITER 工学設計活動で開発された大型超伝導コイルを用いて，直径 1.6 m の空間に 13 T の強磁場を発生でき，CS 実機の動作条件の導体性能を評価できる．CS インサートコイルは，この CS モデル・コイル試験装置で導体性能評価試験をするための試験コイルで，CS導体を直径1.5 mのスパイラル状（約 9 ターン）に巻いたものである．導体長は約 40 m で，このうち高磁場部は約 10 m あるため，精度のよい評価が可能である．CS インサートコイルを CS モデル・コイル試験装置に組込み，2 月末から 5 ヶ月間試験を実施した．実機動作条件での導体性能（分流開始温度）は，約 6.7 K と要求値 5.2 K より約 1.5 K 高い値を確認した．また，1 万 6 千回繰り返して電磁力を与え，極低温から室温まで熱履歴を 3 回与えたが，導体性能の低下は見られなかった．この結果から，CS 導体が実機動作条件において充分な導体性能を有することが確認できた．なお，詳細な導体性能の解析は，今後 ITER 機構，米国も含めて行っていく予定である．

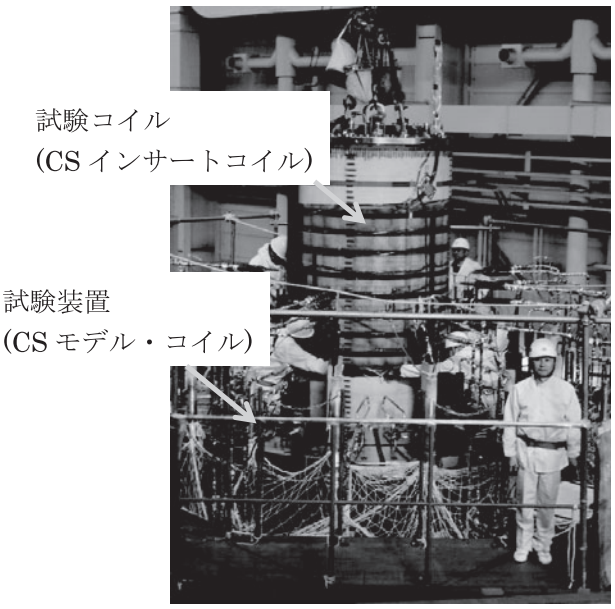


図 1　試験コイルの試験装置への組込み．

2．ITER トロイダル磁場（TF）コイル第 1 号巻線の導体絶縁作業を完了

原子力機構は，調達を担当するITER向けTFコイルの製作にあたり，実規模試作及び TF コイル製作装置の製作をメーカーと協力して進めている．これまでに，巻線作業，冷媒入口部及びジョイント部の施工，熱処理，トランスファ，導体絶縁，カバー・プレート（CP）溶接，ダブル・パンケーキ（DP）絶縁及び DP 含浸の各装置の検証，及び実規模での検証試験を完了した．このうち導体絶縁では，ラジアル・プレート（RP）の溝に挿入した生成熱処理を終えた超伝導導体（導体）を持上げ，超伝導導体の外周に絶縁テープを巻き付けた後に，絶縁済みの導体を RP の溝に挿入する．具体的には，導体持上げ装置でRPの溝に挿入された導体を持上げ，4 台のテーピング・ヘッドで 6 層の絶縁テープ（ガラスとポリミドの接着テープ（GK テープ）1 層，クエンチ検出テープ 1 層，GK テープ 3 層，ガラステープ 1 層）を導体外周に巻き付け，導体降下装置で絶縁済みの導体を RP の溝に再挿入する（**図 2**）．この作業においては，導体に 0.1% 以上の歪が加わるとその性能が劣化することから，導体に 0.1% 以上の歪が加わらないように，導体を持上げる約 6200 mm の区間で持上げる導体の高さを約 384 mm 以下とする必要がある．これまでに，実規模の巻線を用いた検証試験において，導体絶縁作業中に導体に加わる歪の量を測定し，歪量が 0.1% 以下であることを確認してきた．また，導体のRP溝への再挿入による絶縁テープの損傷がないことを確認した．

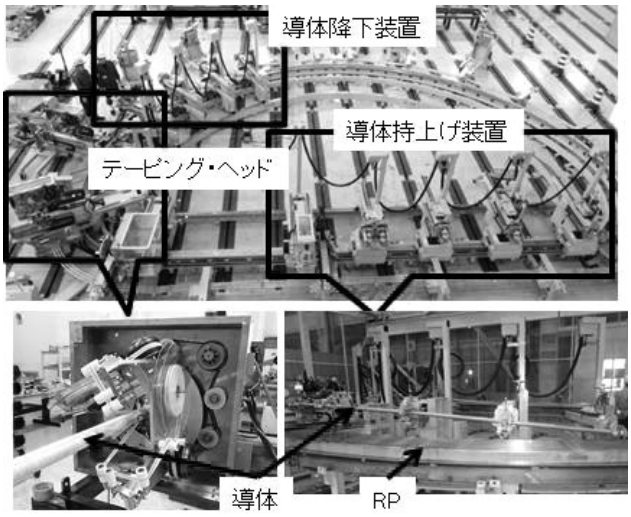


図 2　導体絶縁装置．

上記の実規模検証試験の結果を踏まえて，本年 6 月に実機 TF コイル第 1 号機の 1 本目の巻線について導体絶縁作業を実施し，成功裏に超伝導導体の RP 溝への挿入を完了した（**図 3**）．また，次工程の CP 溶接作業についても無事完了し，第 1 号巻線の完成に向けて，DP 絶縁及び DP 含浸の作業を実施する予定である．

3．最後となる ITER 導体会議をフランス ITER 機構本部で開催

ITER 超伝導コイルに用いる超伝導導体（導体）は，ITER 機器の中で最も早く2007年に最初の調達取り決めが結ばれ，さらに ITER 参加 6 極で分担する前例のない国際協力体制での製作となった．9 月現在で導体全体の78%の製作が終了している．導体は最長918 m（CSコイル用導体）であり，最大68 kA（TFコイル用導体）の電流を通電する，これまでにない長尺の大電流導体である．そのため製作を進めるにあたり，多くの予想外の技術課題に直面したが，ITER のプロジェクトの円滑な実施のためには，早期に適切な対応が求められた．また，ITER 参加極で共通する課題が多くあるため，参加極間での技術課題の共有と議論が，解決への早道となる．そこで，ITER 機構が主導する形で，2008年から導体製作担当極の技術者らが集まる ITER 導体会議を毎年 1 ～ 2 回開催し，課題を解決してきた．しかし，全体では導体製作は終盤となってきており，新たな課題も少なくなったことから，9 月15～17日までフランス

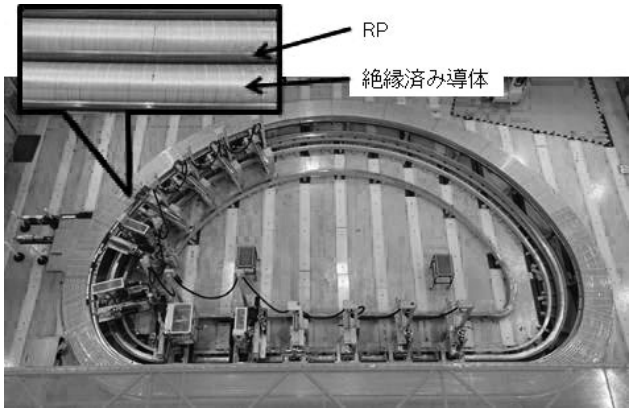


図 3　導体絶縁作業を完了した TF コイル第 1 号機用の巻線．

ITER 機構で最後の第14回導体会議を開催した．ITER 参加 6 極から合計約40名が参加し，これまでに得られた技術的知見のレビューを含め，技術課題と製作状況についての発表と議論を行った．最後に導体製作に係わった各極のメーカー等の功績をたたえるために，プレートを作成しビゴ ITER 機構長による除幕式を行った（**図 4**）．これは現在 ITER 機構本部に掲示されている．なお，日本では引き続き CS コイル用導体の製作を2017年まで，他の極でも PF コイル用導体等の製作が続くため，今後は個別に ITER 機構が会議を開く予定である．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

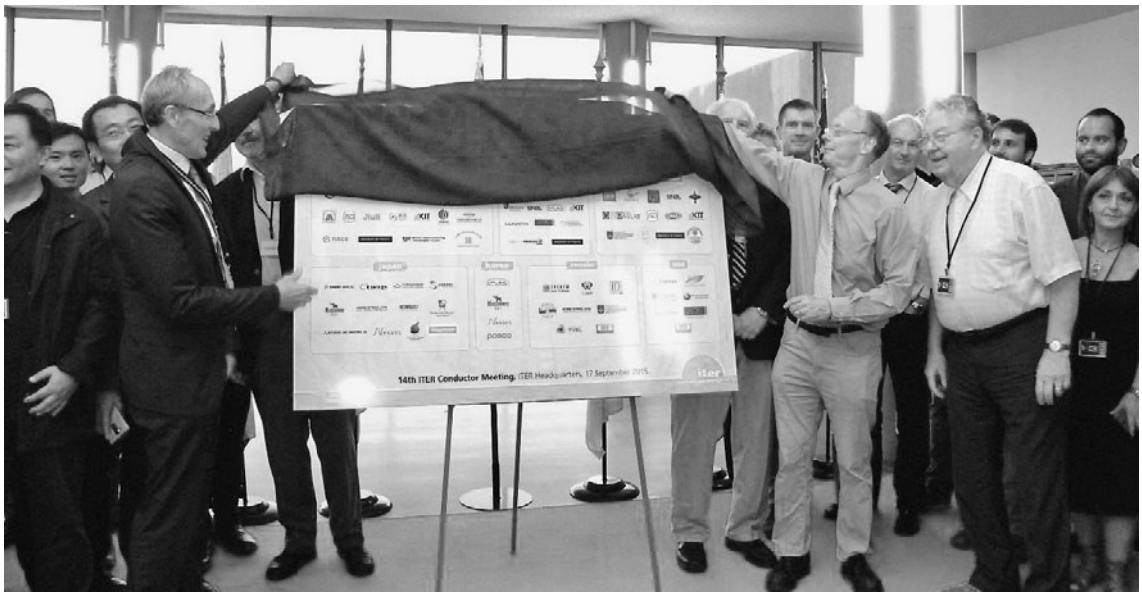


図 4　ビゴ ITER 機構長による導体製作に係わったメーカー等の功績をたたえるプレートの除幕式．

インフォメーション

ITER だより(55)

1．第17回 ITER 理事会開催：ITER 計画の進捗を確認

2015年11月18日から19日に，ITER 機構の統治機関である ITER 理事会が，フランス，サン・ポール・レ・デュランス市で開催された．会合には，ロバート・アイオッティ議長（米国）の下，加盟７極（中国，欧州連合，インド，日本，韓国，ロシア，米国）の全上級代表が集った（**図１**）．

理事会は ITER 機構と各極の国内機関が示したプロジェクトの進捗についてレビューを行い，ITER の設計と初期建設の段階から本格的な建設段階への変化期にある中，新しい機構長のリーダーシップの下で達成された成果に特に注目した．

理事会は，機構長，新しいマネジメントチーム及び各極国内機関による，過去８ヵ月のプロジェクト文化を改善するために払われた多大な努力を認識した．ITER 機構は，建設と組立，コミッショニングの完了までに行われる ITER システム，建屋，機器の製作と組立についての緻密なボトムアップレビューと解析を実施している．理事会は，この系統だった統合解析とレビューにより，ITER 計画の目的，優先順位，リスク，コストについての理解が大きく改善されたことがファーストプラズマまでの全体的なスケジュールに結実していると認識した．

理事会は2016年から2017年をカバーするスケジュールとマイルストーンを承認し，全体的なスケジュールと関連した資源の独立したレビューを実施し，スケジュールの促進とコストの減少のために可能な追加の方法の検討を決定した．2016年６月までにこれらのレビューを完了し，ファーストプラズマまでの全体的なスケジュールの合意への到達を計画している．

理事会は ITER 機構と国内機関のパフォーマンスが2016年から2017年のマイルストーンを達成するよう，緻密にモニターし，２年間に渡りこれらのマイルストーンの実施を可能とするように，必要な資金の再配分を承認した．

加えて，理事会はこの８ヵ月の間の建設と機器製作の目に見える進捗について認識し，感謝した．これは例えば，欧州国内機関による現地における建設の進捗，組み立て建屋の骨組みとトカマク建屋の一階部分のプラットフォームの完成，マグネットの進捗，中性粒子入射装置，遠隔保守などである．

図１　第17回 ITER 理事会出席者（ITER 機構提供）．

インドは，すでに現地にて建設が完了しているクライオスタット建屋にて組み立てられる，ITER クライオスタットの初期機器の製作，予備組み立て，輸送を完了すると同時に，ITER の冷却排熱システムのための最初の冷却パイプの製作を完了した．

米国調達の４つの 400 kV 変圧器が現地へ輸送され据付されると同時に，米国調達の冷却システムと中性粒子入射システムのためのドレインタンクも現地に到着した．

中国は電力ネットワークのパルス電源設備の最初の一式の製作と試験が完了し，マグネットフィーダー，補正コイル，ブランケット第一壁の製作における品質保証マイルストーンを達成した．

日本はトロイダル磁場コイルの量産を開始した．ITER 用ダイバータのためのプラズマ対向機器のフルタングステン試作機を製作し，ITER に必要な性能が証明された．

ロシアは ITER 用マグネットの超伝導撚線の納入のその責務を完全に満足した．ロシアの ITER ダイバータテスト設備において，日本，欧州及びロシアからダイバータプラズマ対向機器のための高熱負荷試験も進行中である．ベリリウムの製造を開始し，ジャイロトロン試作施設の受け入れ試験をパスした．

韓国において，ITER 用真空容器とサーマルシールドの製作が進行中であり，組立に必要な多くの ITER 専用ツールの設計マイルストーンが達成された．

理事会は，ITER 参加極の12ヵ国の研究所や企業を含む調整努力とニオブチタン材の材料科学，多国間における設計方法，生産基準，品質保証，試験方法の進展により，超伝導導体の生産が完了したことに特に留意した．理事会は，この協力で ITER の全ての参加極にもたらされる重要な利益と，エネルギー産業だけでなく，医療用撮影や輸送への応用など，いくつかの他分野への分野をまたがる交流とイノベーションへポジティブな影響を与えることを認識した．

2．NBTF 用超高電圧電源の開発を完了，イタリアへ到着

ITER 中性粒子入射装置（NB）はビームエネルギー 1 MeV，単機入射パワー 16.5 MW という，既存システムの２倍以上の高エネルギー NB 装置であり，高電圧・高出力の要求に加えて，放射線環境ゆえの１MV 真空絶縁，加熱電流駆動装置として ITER プラント内で統合・一体化等が求められる．このため，ITER では，ITER NB と同等の性能を有するNB実機試験施設（NBTF）をイタリア・パドバのRFX研究所に建設し，実機の製作に先駆けて試験を行う

計画である．

このうち日本は，1 MV 超高電圧直流電源の中核機器の調達を担当し，製作を受注した日立製作所㈱と共に機器の開発・製作を進めてきた．これまでに，対地 1 MV を絶縁しつつイオン源用電源に電力を供給する絶縁トランスの開発に成功し（平成25年 3 月），また超高電圧試験電源を開発して（平成26年10月），前号報告のとおり，超高電圧複数導体入りトランスミッションライン（TL）の開発を完了した．1 MVの直流超高電圧は，昇圧変圧器と整流器を組み合わせた直流発生器（DCG）5 台を直列に接続して発生する．この度DCGの開発が完了し，5 台のうち低電位側の 3 台（200 kV，400 kV，600 kV 発生用）の DCG を製作して出荷前試験に合格し，約 8 割にあたる TL と共に日本が調達する NBTF 機器の初めての海外輸送として，日立港を出港した．

このNBTF電源機器を積載した貨物船は，12月 7 日に霧に煙るベネチアの陸地側に位置するマルゲラ港（**図 2**）に入港し，直ちに内陸 40 km に位置するパドバに向けて陸送され，10日に現地へ到着した（**図 3**）．

日本からの機器の到着に合わせて，RFX研において機器の到着と工事の開始を祝う式典が開催された．式典には，パドバ市長，ビゴ ITER 機構長，ガリバ EC-ITER 局長，ジャンニーニ伊教育大学研究大臣代理，バラバスキー欧州国内機関長等，要人が参加し，日本からも文科省の板倉審議官他の関係者が出席した．

日本からは事前に数名の現地据付工事担当，工程調整担当等数名が現地入りして準備を進めてきており，翌日から電源機器の据付工事を開始した．また残りの日本の調達機器についても製作を順次進めており，完成次第，2016年内にイタリアへ輸送する予定である．

図 2　ベニス　マルゲラ港での荷揚げ．

図 3　　RFX 研に到着した機器（トランスと電送系）．

3．ITER トロイダル磁場（TF）コイル第 1 号の構造物の製作に進展

原子力機構は，ITER 機構との調達取り決めに従い，ITER 向け TF コイル用構造物（TFCS）の製作を進めている．TFCS は，超伝導導体などで構成される巻線部（WP）を挿入する容器のうち ITER のインボード側（トカマク装置中心側）容器（AU），アウトボード側（装置外側）容器（BU），AU 用の蓋（AP），BU 用の蓋（BP）の 4 個の部品で構成される（**図 4**）．これらの部品は，ステンレス鋼製の百数十個に及ぶ材料を製作した後に，これらの材料を機械加工し，それらの部材を順次，溶接接続して製作する．この製作においては，WPの挿入及びトカマクへのTFコイルの据付観点で高い製作精度が求められており，高さが約 16.5 m，幅が約 3.4 m の AU に対しては，最も厳しい個所では ±2 mm の精度が要求されている．このような製作精度を達成するためには，材料の高精度での機械加工のみならず，部材を溶接する際の溶接変形を抑制することが重要となる．

原子力機構では，これまでに実規模での TFCS の試作を実施し，この中で溶接変形を許容値以下とするために溶接条件や溶接手順等を最適化し，TFCS の製造計画を確立してきた．この製造計画に基づき，2014年 4 月から実機 TF コイル用の TFCS の製作を開始し，本年11月に TF コイル第 1 号機用の AU の主構造体（全長 14 m）の製作を完了した（**図 5**）．この後，この AU にはトカマク内での他の機器と取り合うための付属品や TFCS を冷却するための配管が取り付けられ，2016年夏には本AUが完成する予定である．また，第 1 号機用の AU 以外の部品や，第 2 号機以降の部品についても順次製作を進めている．

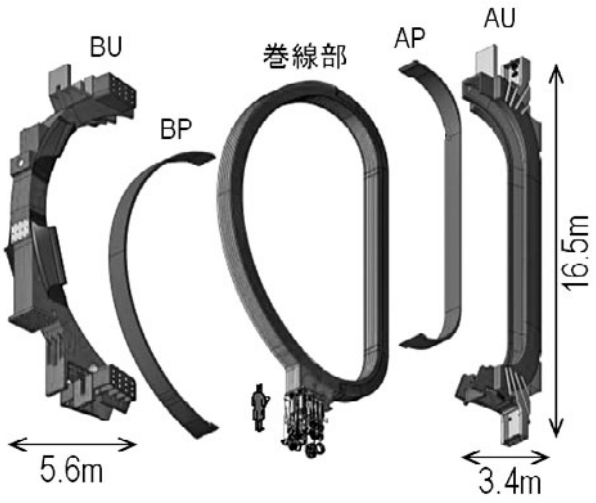


図 4　TF コイルの構成部品．

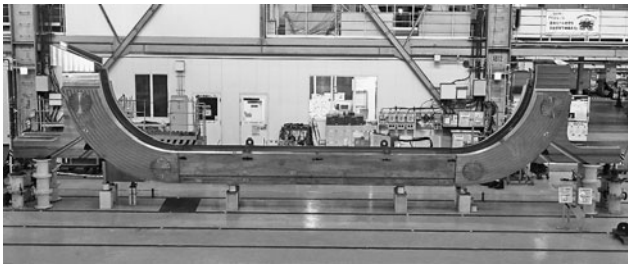


図５　主構造体の製作が完了した TF コイル第１号機用の AU.

４．ITER 計画の展示と ITER 機構職員募集説明会の実施

原子力機構では，我が国から ITER 機構への職員の応募を促進する活動を行っている．その一環として，11月のプラズマ・核融合学会第32回年会（名古屋大学 東山キャンパス）および12月の低温工学・超伝導学会（姫路商工会議所）の企業展示会に出展した．展示ブースでは，新たに制作した ITER 計画パンフレット，ITER Photo Book（ITER 機構編集の写真集）などの資料を配布し，ITER 計画について説明するとともに，ITER 機構職員募集および登録の案内を行った（**図６**，**図７**）．ブースには，ITER の職員募集を紹介したポスター，日本国内機関（JADA）と那珂核融合研究所を紹介したポスター，Newton 核融合特集号など関連資料及び ITER 模型を展示した．それぞれポスターセッションと同じフロアであったため，展示ブースには多くの学会参加者に訪問していただき，ITER の進捗状況から調達機器の技術的な部分まで多くの質問が寄せられた．参加者には学生も多く，熱心に説明を聞いたり，研究所の見学に興味をもっていただいたりすることができ，若い世代にも ITER をアピールすることができた．プラズマ・核融合学会と低温工学・超伝導学会で合わせて約100名が来訪し，大盛況だった．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図６　プラズマ・核融合学会第32回年会の展示ブース．

図７　　低温工学・超伝導学会の展示ブースの様子．

インフォメーション

ITERだより(56)

1. ITER用低温循環装置の試験終了

インド国内機関が調達する低温循環装置（図 1）を，原子力機構が保有する試験装置を用いて試験することについて，2013 年 6 月に協定を締結した．インドは 2 種類の試作低温循環ポンプ(CC-1, CC-2)と試験用クライオスタット(Test Auxiliary Cold Box)を調達し，2015 年 9 月に原子力機構に搬入した．原子力機構はこれらを CS モデル・コイル試験装置の極低温システムに接続し，2015 年 10 月から試験を開始した．

循環ポンプは，トロイダル磁場(TF)コイル用，中心ソレノイド(CS)コイル用，ポロイダル磁場(PF)コイル用，クライオパネル用などがある．これらの定格動作条件のうち最も負荷が大きいのが TF コイル用で，流量は 2.21 kg/s，ポンプヘッドは 155 kPa である．この定格条件を達成する回転数は設計により異なり，低温循環ポンプ CC-1 は 11,900 rpm で達成し，CC-2 は 8,640 rpm で達成した．CC-1 は，115%まで回転数を増やし，最大ポンプヘッドは 240 kPa，最大流量は 3.2 kg/s であった．CC-2 は，110%まで回転数を増やし，最大ポンプヘッドは 192 kPa，最大流量は 3.4 kg/s であった．

試験は 2015 年 12 月末で終了し，インドはこれらの試験結果を基に実機調達に取り掛かる予定である．

2. 原子力機構核融合中性子源 FNS の実験運転完遂

原子力機構原子力科学研究所にある核融合中性子源 FNS (Fusion Neutronics Source) はコッククロフトウォルトン型の加速器で，最大 20 mA の重陽子ビームを 350 keV まで加速し，ビームライン先端に取り付けた約 1000 Ci のトリチウムターゲットに当てることにより，DT 中性子を毎秒最大 3×10^{12} 個発生させることができる装置で，現在稼働している加速器型 DT 中性子源の中で世界最高の性能を有している．

この装置のファーストビームは 1981 年 8 月 5 日で，1982 年から約 10 年にわたり米国エネルギー省と共同で核融合ブランケット中性子工学実験を実施し，酸化リチウムを用いた種々のブランケット模擬体系を用いたトリチウム生成率を中心とする様々な実験データを取得し，核融合炉ブランケット核設計の精度検証を行った．また，ITER 工学設計活動では，ITER の遮蔽ブランケット，真空容器，超伝導電磁石等を模擬した実験体系を用いた遮蔽実験，ストリーミング実験，崩壊熱実験，誘導放射能実験をタスクとして実施し，これらの実験の結果が ITER の遮蔽設計裕度に反映されている．これらの実験と並行して，放射化断面積測定，核データ検証ベンチマーク実験も精力的に行われ，核設計の精度を大きく左右する核データライブラリーの精度向上にも大きく貢献してきた．更に，大学や他の研究機関との共同研究でも FNS は広く利用され，計測機器の試験，材料照射試験等が行われてきた．最近では，ITER テストブランケットモジュールや原型炉ブランケットのために，DT 中性子をブランケット模擬体系に照射しながら生成したトリチウムをオンラインで回収する実験に取り組み，トリチウム回収率，回収されるトリチウムの化学形態（HTO 成分と HT 成分の割合）及びそれらの温度依存性等，世界に類を見ない貴重な実験データを得ている．

このように FNS では核融合中性子工学研究の分野で世界をリードする大きな成果を多数あげてきた

図1 インド国内機関が原子力機構に持ち込んだ低温循環装置（左）、及び2種類の試作低温循環ポンプ（右）

が，原子力機構六ヶ所核融合研究所での新たな中性子源開発を本格的に開始するため，ファーストビームからちょうど 34 年 6 ヶ月に当たる 2016 年 2 月 5 日 14:30，実験のための FNS の運転を停止した．原子力機構内の職員の方々，大学，研究機関の先生方の長年にわたるご支援，ご協力に深く感謝したい（**図 2**）．

3. モナコ ITER 核融合エネルギー・デイおよびイータービジネスフォーラム国際会議（MIIFED/IBF 2016）の開催

2016 年 2 月 8 日～ 10 日の 3 日間，モナコ公国のグリマルディ・フォーラム会議場において，ITER 機構の主催，モナコ公国後援のもとモナコ ITER 国際核融合エネルギー・デイ（MIIFED）兼 ITER ビジネスフォーラム 2016 が開催された．モナコ大公アルベール 2 世の臨席のもとベルナール・ビゴ ITER 機構長による開会挨拶，アルベール大公のオープニングスピーチにより会議がスタートした．その後，アルベール大公及び ITER 機構長自らが日本の国内機関（JADA）展示ブースを訪れ，日本の調達状況の説明を受けた（**図 3**）．

MIIFED は，ITER 計画や核融合研究開発に対する産業界の理解・参加を促進することを主な目的として開催され，今回は 2013 年に続いて 3 回目である．一方，ITER ビジネスフォーラムは，2007 年の初回から数えて 6 回目であり，今回の開催において MIIFED と ITER ビジネスフォーラムが統合イベントとして開催された．欧州を中心に 26 ヶ国から参加研究機関・大学・企業 285 団体，ITER 参加各極から約 600 名の参加者があり，盛況であった．日本からは，原子力機構，核融合科学研究所（NIFS），高エネルギー加速器研究機構，名古屋大学，東芝，三菱重工の 6 団体から 15 名が参加した．ITER 機構から，ITER プロジェクト全体の進捗状況，各国の国内機関からは担当する機器の調達活動の状況についての紹介があった．日本からは，原子力機構那珂核融合研究所の草間副所長から日本の調達活動全体の報告があり，さらに同研究所の JT-60SA プロジェクトの鎌田部長から，JT-60SA 建設における研究機関及び産業の国際的協働関係が紹介され，日本での製作の進展が大変注目された．ラウンドテーブルと呼ぶパネル討論形式で，ITER 機器の調達に参画する各極産業界を中心に政府，自治体，研究機関，極内機関関係者が ITER 機器の製作技術から原型炉，世界のエネルギー問題まで，幅広いテーマで議論を行った．またロビーでは企業，自治体，極内機関の展示ブースが多数設けられ，情報交換，意見交換の場となった．

IBF の重要な目的の一つは，企業間，国内機関－企業間の情報交換，企業の ITER 調達活動への参入，協力の促進である．原子力機構はブースを開設し，各々の調達活動を紹介した（**図 4**）．さらに，30 分単位のスケジュールで企業間のビジネス面談が積極的に行われ，それぞれの機関，企業が公式・非公式な話合いを通して ITER プロジェクトの成功に向けたパートナーシップの強化を確認した．

（日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門）

図2 FNS実験運転完遂の記念写真.

図3 ビゴITER機構長及びモナコ大公が日本国内機関（JADA）展示ブースを訪問.

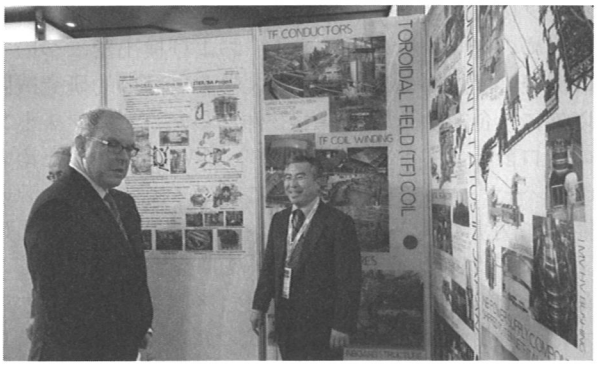


図4 モナコ大公アルベール2世に日本の調達活動を御紹介.

インフォメーション

ITERだより(57)

1. 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構の発足

2016（平成 28）年 4 月 1 日，日本原子力研究開発機構（原子力機構）の核融合研究開発の業務と量子ビーム研究開発の業務の一部を放射線医学総合研究所（放医研）に移管統合し，国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（量研機構，または量研）が発足した．4 月 3 日には量研本部（千葉市）でご来賓の方々の参加のもと，発足記念式典が行われた．

放医研は千葉市稲毛区に拠点を持ち，放射線と人の健康に係る総合的な研究開発を行っている国内唯一の研究機関である．統合して設立された量研は，量子科学技術に関する研究開発や放射線の人体への影響，被ばく医療並びに放射線の医学的利用に関する研究開発等の業務を総合的に行うことにより，量子科学技術と放射線医学に関する科学技術の水準の向上を図ることを目的とする．核融合エネルギー研究開発部門（那珂核融合研究所，六ヶ所核融合研究所），量子ビーム科学研究部門（高崎量子応用研究所，関西光科学研究所），放射線医学総合研究所（放射線医学研究開発部門）の 3 つの部門，5 つの拠点の研究開発力を統合し，世界トップクラスの量子科学技術研究開発プラットフォームを構築する（**図 1**）．量研の詳細はウェブサイト(http://www.qst.go.jp)を参照いただきたい．

核融合研究では，これまでの原子力機構で行ってきた，ITER 計画の国内機関及び幅広いアプローチ（BA）活動の国内実施機関としての責務を量研が引き続き果たしていくとともに，JT-60SAを活用して進める先進プラズマ研究開発，BA活動で整備した施設を活用・拡充して進める核融合理工学研究開発へと事業を展開することで，「核融合原型炉」への道を拓く核融合研究の国際的中核拠点としての役割を果たしていく．

2. 直流 1 MV超高電圧発生器の完成

ITER用中性粒子入射装置（NB）では，世界最大出力となるエネルギー 1 MeV，電流 60 Aの負イオンビームを 1 時間連続で発生させることが求められている．このたび，量研機構は，そのビーム加速用電源の一部である直流 1 MV超高電圧発生器の製作を完了した．

ITERでは，この世界に例を見ない高出力NBの性能を確実にするため，ITER実機に先駆けて，実機と同一性能である実機試験施設（NBTF）をイタリア・パドバのコンソルツィオRFX研究所に建設中である．量研機構は，このうち，ビーム加速用電源の中核装置である，直流 1MV超高電圧発生器の製作を担当している．これは，昇圧変圧器と整流器を組み合わせて構成され

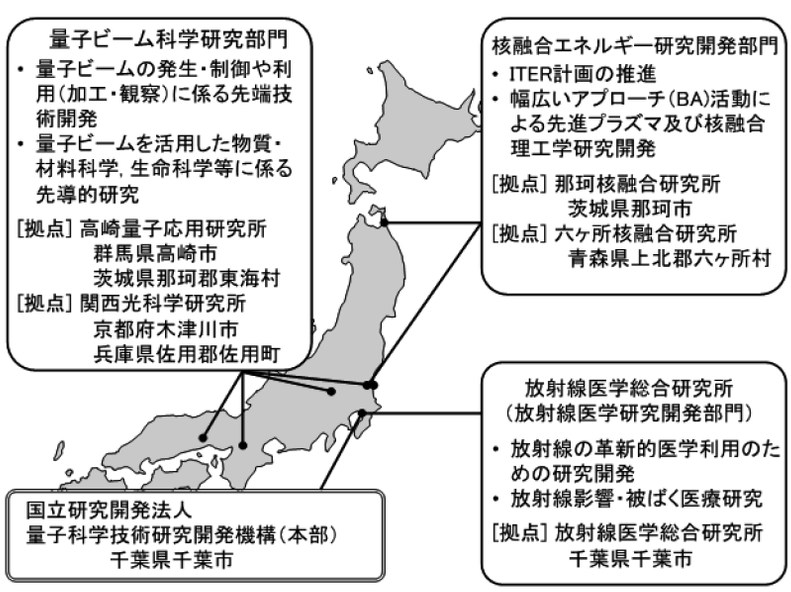


図 1　量子科学技術研究開発機構（量研）の研究拠点．

図2　直流１MV超高電圧発生器：昇圧変圧器（左），及び整流器（右）．

図3　第22回ITER企業説明会の様子．

るものであり，欧州が用意するインバータからの低電圧高周波交流（6.5 kV，150 Hz）を受け取り，これを昇圧変圧器で昇圧し，さらに昇圧した交流を整流器で三相全波整流して直流 200 kVを発生させるものである．この高電圧発生器を5段直列接続して，全体で1 MVを発生させる構成である．2015 年 2 月から順次 5 段分の製作を続け，2016 年 3 月，最大電圧を発生する1 MV段の機器を完成させた．

図 2(左)に，この 1 MV段の昇圧変圧器を示す．内部の一次巻線と二次巻線の間には，直流 1 MVの電圧が 1 時間印加される．従来の数十秒の短パルス運転とは異なり，長時間，直流電圧が印加されると，時間と共に絶縁油から巻線周りの紙製の絶縁体に電界が集中する特性があり，絶縁破壊の要因となる．そこで，この電界集中を抑制するよう，絶縁体の厚みや形状を工夫した新たな絶縁構造を考案した．**図 2(右)**に整流器を示す．高出力で 1 時間連続出力することから，ここに内包されるダイオード整流器素子の冷却と絶縁の両立が実現への課題であった．このため放熱フィンや配置を考慮し，周囲の絶縁ガスである六フッ化イオウ(SF_6)の流れによる冷却効果を解析で求め，同時に電界解析も実施して最適な配置構造を実現した．これらの機器は，ITERの要求値である 1.2 MV，1 時間の耐電圧試験，及び電流通電試験に合格し，予定通り 2016 年 4 月，NBTFに向けて輸送を開始した．

3. 第 22 回ITER企業説明会を開催

3 月 2 日，28 団体から 39 名の参加者を迎えて，東京八重洲において第 22 回ITER企業説明会が開催された．今回は，仙波秀志文部科学省研究開発戦略官より，ITER計画，ITERサイトの建設状況等，核融合エネルギー技術の多岐な応用に対する民間企業への期待，ITER機構の職員応募への期待，産業界との連携の重要性について説明いただいた．加えて，本年 4 月から量子科学技術研究開発機構の設立について紹介があった．また，草間義紀那珂核融合研究所副所長からは，ITER計画における日本分担機器の調達状況，ITER国内機関としての活動内容及び組織構成，日本が担当する主要本体機器に関して 88%の調達取決めが締結されたことが説明され，現在までの調達状況及び 2020 ～ 2021 年（初プラズマ）までの調達スケジュールのほか，トロイダル磁場コイル構造物の実機製作状況，中心ソレノイドコイル用導体の製作及び米国への輸送，中性粒子入射加熱装置（NBI）の製作，高周波加熱装置（ジャイロトロン及び水平ランチャー）設計製作及びその他の機器の調達活動と 2015 年度のITERサイトの整備状況，トカマク複合建屋の建設進展，及び全体工程に関する状況が示された．さらに，ITER計測装置の調達進展，ITERブランケット遠隔保守装置の調達進展，ITERテストブランケットの開発取決め，ITERトリチウム除去系の共同調達，ITER品質保証と品質管理の課題やアプローチに関する情報など，様々な分野で機構の各発表者が説明した（**図 3**）．講演後には参加された企業の方と質疑応答が行われた．

本企業説明会についての詳細は那珂研ITERウェブサイト（http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/）の「企業説明会の開催について」をご覧いただきたい．

（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）

インフォメーション

ITERだより(58)

1. 第18回ITER理事会開催： ITER理事会はファーストプラズマに焦点をあてたスケジュールの更新を是認した

2016年6月15，16日に，ITER機構の統治機関であるITER理事会の第18回会合がフランス，サン・ポール・レ・デュランスにおいて開催された．会合には，南宮（ナムクン）議長（韓国）の下，加盟7極（中国，欧州連合，インド，日本，韓国，ロシア，米国）の全上級代表が参加した（**図1**）．2年に渡るITER機構と7つの国内機関による新しいベースライン策定の努力の結果として，ITER理事会はファーストプラズマを2025年12月とする統合スケジュールの更新を是認した．

ITER理事会は，ITER機構が提案した資源割当統合スケジュールをレビューし，以下を結論した．

- これまで，全てのプロジェクトマイルストーンをスケジュール通り，または前倒しで完了した．これは，ITER機構と国内機関が更新スケジュールを満たす能力を持つことを示している．
- ITER理事会レビューグループによる完全かつ包括的なレビューにより，スケジュール更新案は挑戦的だが技術的に達成可能なものであることが正当に検証された．
- 更新スケジュールは，鍵となるトカマクと補助施設の組立やコミッショニングフェーズの完了などを含み，ファーストプラズマへの技術的に達成可能な最適なパスを示すものである．
- ファーストプラズマへの核となる要素に焦点を絞ることは，プロジェクトのリスクを効果的に低減するものである．
- 意思決定の効率の向上，リスクへの理解の改善，コミットメントの厳守，などが証明され，プロジェクトが現在のポジティブな推進力を維持し続けることが確信された．

理事会の是認により，各極は資源割当統合スケジュールの承認を得るための国内プロセスに進むこととなった．理事会は，プロジェクトの成功に不可欠な要素に焦点を置いたレビューを実施するという米国の提案を議論した．ベルナール・ビゴITER機構長は，次のように述べ，これらのレビューによる追加の監視を歓迎した．「我々は，透明性と継続的改善の精神でITERプロジェクトを運営することを約束した．これらのレビューは，我々のパフォーマンスの検証の助けとなり，追加で得られるどんな見解も本プロジェクトの利益となるだろう．」

理事会はまた，ITER機構に対し，次の11月の会合においてプロジェクトベースラインの更新を採択することが可能なレベルの十分に詳細な資源割当統合スケジュールを重水素―三重水素運転期まで拡大する努力を行うよう指示した．

なお，理事会のプレス発表はITER機構のホームページ(英文)[1]でご覧いただけます．

ITER理事会の第18回会合結果を受け，馳文部科学大臣は会見で次のように述べた．「ITER計画は世界初の本格的な核融合装置を実現する目的の下，7つの多様な国・組織が協同で進める最先端の国際プロジェクトであり，これまでに例のない先導的挑戦であると考えています．ある程度の試行錯誤はやむを得ないものとは考えているが，これ以上遅延を生じさせないためにも，ビゴ機構長のリーダーシップの下でしっかりとプロジェクト管理をしていくことが重要です．文部科学省としては，ITER計画は核融合エネルギーの実現に向けた最良の選択肢と認識しており，引き続き関係各国と協力して取り組んでまいりたいと思っています．」

なお，馳大臣の発言全文は文科省のホームページ[2]でご覧いただけます．

[1] http://www.iter.org/doc/www/content/com/Lists/list_items/ Attachments/688/2016_06_IC-18.pdf
[2] http://www.mext.go.jp/b_menu/daijin/detail/1372746.htm

2. ITER TFコイル第1号DPの含浸作業を完了

量研機構は，ITER機構との調達取り決めに従い，ITER向けトロイダル磁場（TF）コイルの製作を進めている．これまでに，ダブル・パンケーキ（DP）の製作工程であ

図1 第18回ITER理事会出席者（ITER機構提供）．

図2 DP含浸を完了したTFコイル第1号機の1体目のDP.

る巻線作業，冷媒入口部及びジョイント部の施工，熱処理，トランスファ，導体絶縁，カバー・プレート（CP）溶接，DP絶縁及びDP含浸の実規模での検証を完了した．このうちDP絶縁及びDP含浸では，CPを溶接したラジアル・プレート（RP）の外周に絶縁テープを巻き付け，絶縁済みのDP全体を樹脂で含浸する．具体的には，絶縁テープ（ガラステープ１層，ガラスとポリミドを接着したテープ（GKテープ）２層，ガラステープ１層）をCP溶接済みのRPの外周に巻き付け，DP含浸容器内に設置した後に，含浸容器内に含浸用の混合樹脂（シアネートエステル樹脂 40%，エポキシ樹脂 60%）を注入して，DP全体を含浸する．このDP含浸作業においては，樹脂が絶縁テープに十分に含浸されるとともに（空隙率として 0.5%以下），含浸容器とDPの隙間にスペーサを挿入して含浸後のDPの平面度が±1mm以内となるよう調整する必要がある．これまでに，実規模のDPを用いた検証試験において，樹脂が絶縁テープに十分に含浸されていること，含浸後のDPの平面度が公差以内であることを確認してきた．

上記の実規模検証試験の結果を踏まえて，本年２月から実機TFコイル第１号機の１体目のDPについて含浸作業を実施し，その後の寸法検査，耐電圧試験等の完成検査に合格し，成功裏に１体目のDP含浸作業を完了した（**図2**）．また，２体目以降のDPの製作も順次進めており，７体のDPの含浸作業が完了した後に，それらを積層して巻線部を製作する作業を実施する予定である．

3. ITER・TFコイル用高強度・高靭性溶接材料の開発成果で日本溶接協会賞「技術賞」を受賞

量研機構は，2016年６月８日に(株)神戸製鋼所，(株)日本製鋼所，及び(株)タセトとともに，「ITER（国際熱核融合実験炉）用高強度・高靭性溶接材料の開発および実用化」の成果により，一般社団法人日本溶接協会から，わが国の溶接技術の発展に寄与した技術を開発した者に与えられる「技術賞（本賞）」を受賞した（**図3**）．

授賞者らは，母材として開発した 12Cr-12Ni-10Mn-5Mo-0.2N系の非磁性オーステナイト鋼FMJJ1 をベースに，母材と同等の極低温特性（4 Kで 1,000 MPa以上の0.2%耐力，180 MPa√m以上の破壊靭性値）を確保し，かつ，完全オーステナイト組織の溶接金属で問題となる高温割れ感受性を低減した溶接材料FMYJJ1 の開発に成功した．FMYJJ1は，その優れた溶接性と性能が高く評価され，270 ㎜厚さにもなる極厚部分を始め，ITERのTFコイル容器のすべての溶接部に使用されており，この実用化に際しては，溶接材料の不純物を低減させる特殊な溶解方法の採用により，高温割れ感受性を低減した溶接材料の大量生産を実現した．

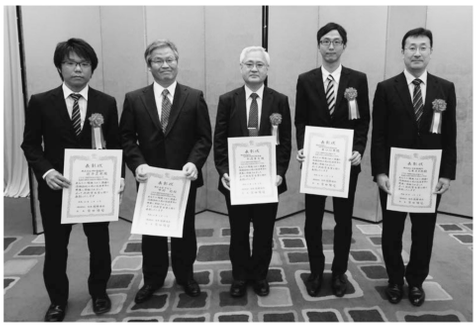


図3 受賞者ら（左から，迎井氏(神鋼)，中村氏(タセト)，中嶋氏(量研機構)，井口氏(量研機構)，石尾氏(日本製鋼所)）．

本開発技術が，ITER計画における日本の貢献を支える重要な技術開発の一つとして位置づけられているとともに，本開発と溶接材料の安定供給なくしては現在のITER計画の進展がなかったことが高く評価され受賞に至った．また，本受賞は，量研機構の液体ヘリウム温度という特殊環境下での材料特性評価技術と(株)日本製鋼所，タセト，神戸製鋼所の製造技術が融合することで，初めて成し得た成果である．

4. Facebook，Twitterはじめました

ITER日本国内機関（ITER Japan Domestic Agency）として，本年４月よりSNS（Facebook及びTwitter）の運用を開始した．ITER建設状況に関するニュース，プレス発表，最新映像，イベントなどの開催案内，及びITER職員公募や業務委託の募集についての情報等をお知らせしている．おかげさまで，運用開始から２ヶ月でたくさんの「いいね！」及びフォローを得ている．また，SNS開始後，従来から運用しているITER Japanのホームページも閲覧数が増えている．今後も，引き続きITER計画に関する最新情報を届けてまいりますので，是非ご覧いただければ幸いです．

Facebook URL：https://www.facebook.com/iterjapan/
Twitter URL：https://twitter.com/iterjapan/
Homepage URL ：http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/index.php （変更なし）

図4 ITER JapanのFacebookページ（トップ画像）．

（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）

インフォメーション

ITERだより(59)

1. ITER NBTF用 1MV直流発生器，サイトへの輸送完了

ITERのプラズマを加熱・電流駆動する中性粒子入射装置（HNB）では，1時間にわたりエネルギー1 MeV，電流40 Aの重水素負イオンビームを発生することが求められている．これは，従来機器に対してパルスで360倍，エネルギー・電流共に2倍となり，世界に類を見ない高出力負イオンビームとなる．このため，ITERに先駆け，イタリア・パドヴァのコンソルツィオRFX研究所において，実機HNBの実規模試験施設（NBTF）を建設し，この性能を確実にする計画である．量子科学技術研究開発機構は，このうち負イオン加速用の1 MV高電圧電源機器を製作し，順次NBTFサイトに輸送し，建設工事を実施している．この度，これら機器のうち1 MV，及び0.8 MV用の直流発生器（以下，DCG）2台を製作し，輸送を完了した．

DCGは，昇圧変圧器と整流器を組み合わせて，1台あたり直流0.2 MVを出力する機器である．現地では，これを5台直列に接続し，全体で1 MVを発生する．このうち1 MV電位となる変圧器においては，1次-2次巻線間に直流1 MVの電圧差が発生する．従来では絶縁距離の観点から寸法が10メートル四方を超えるところ，変圧器内部の油絶縁紙の厚みや形状を工夫して小型化を図り，現地に設置できる寸法（幅4.5 m× 7 m，高さ5.4 m）で機器を実現した．また，整流器（直径3 m，長さ9 m）においても，耐電圧と長パルス時の温度上昇を抑制する内部構造を実現し2016年3月までに1 MV，0.8 MVのDCGの製作を完了した．

2016年4月，これらDCG 2台分の機器となる，昇圧変圧器，整流器，変圧器と整流器を繋ぐブッシング，整流器を設置するための架台，及び配管等を載せた輸送船が日立港を出港し，2016年6月20日にイタリア・マルゲラ港に到着した．その後，イタリア国内輸送を経て，6月末までに全機器をNBTFサイトへの搬入した（図1）．NBTFサイトにおいては，既に低圧側のDCG 3台（0.2, 0.4, 0.6 MV）の据付工事が完了しており，今回の2台の輸送を以て，DCG全数の輸送を完了したものである．

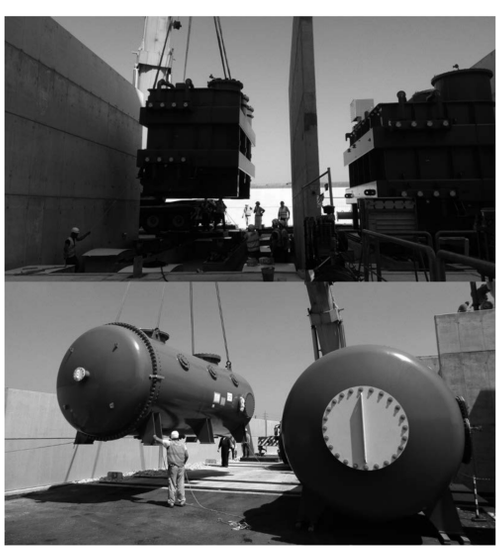


図1 1 MV, 0.8 MV DCGの変圧器（上図），整流器（下図）の搬入．

2. ITERプラズマ計測と高周波加熱に関する日韓協力に対して韓国国立核融合研究所から感謝盾が贈呈される

2016（平成28）年6月28日，韓国国立核融合研究所（NFRI）において，ITERプラズマ計測用レーザーとプラズマ高周波加熱に関する日本と韓国のITER国内機関間の協力に対して，NFRIから量子科学研究開発機構（QST）へ感謝盾が贈呈された（図2）．

日本が調達するITER周辺トムソン散乱計測用原型YAG レーザー装置については，当該原型YAG レーザー装置を用いた共同実験のための取決めを 2011 年 11 月にNFRIと締結した．QSTで開発した原型YAGレーザー装置は，2012年4月からNFRI のKSTAR トカマクのトムソン散乱計測装置に組み込まれ，2012 ～ 2014年のプラズマ実験においてトムソン散乱計測が行われた．QSTは，本共同実験により，このレーザー装置がトムソン散乱計測に問題なく使用できることが実証できた．NFRIは，このレーザー装置を用いたトムソン散乱計測により，電子温度・密度分布の時間変化を10 ms毎に計測できるようになり，物理研究を大きく進展させた．

日本が調達するITER用170 GHz, 1 MWジャイロトロンについては，トカマク環境での試験データ取得を目的として，ITERプロトタイプジャイロトロンを用いた共同実験のための取決めを2011年4月に締結した．同年7月には当該ジャイロトロンをNFRIへ輸送するとともに，ジャイロトロンの据付や発振調整を進め，これまでに1 MWの50秒発振に成功した．KSTARの電子サイクロトロン波加熱（ECH）装置のジャイロトロン用電源は，ITERで採用予定のパルスステップ変調型電源と同タイプのものを

図2 NFRIから量子科学研究開発機構（QST）へ感謝盾が贈呈された様子．

使用しており，その電源でITERジャイロトロン運転を実証したことや，電子銃の経年変化のデータを取得できたことは，ITERにおけるジャイロトロン実機の運転に役立つものとして大きな意義を持つ．また，同年 8 月にはKSTARへのRF入射に成功した．

感謝盾贈呈式は，李鉉坤（イ・ヒョンゴン）ITER韓国国内機関副機関長の司会進行で，和やかな雰囲気の下で行われた．最初に李副機関長により経緯が説明され，感謝盾に刻まれた感謝の言葉が読み上げられた後，兪席在（ユ・ソクジェ）NFRI副所長から栗原研一 QST那珂核融合研究所長へ感謝盾が手渡された．QSTとNFRIは，今後も核融合エネルギー開発のための研究協力を推進する予定である．

3. 第 11 回核融合エネルギー連合講演会でのITER展示ブース出展，ITER職員募集説明会の実施

量研機構は国内機関として，ITER機構への職員の応募を促進する活動を行っている．その一環として，7 月 14，15 日に九州大学伊都キャンパスにて開催された第 11 回核融合エネルギー連合講演会の企業展示会に出展した（**図 3**）．展示ブースでは，来訪者に核融合エネルギーやITER計画について説明するとともに，ITER機構職員数の現状や業務内容についても説明し，ITER機構職員募集および登録の案内を行った．来訪者には，より一層ITERに興味をもっていただくために量研機構，ITER機構がそれぞれ作成したパンフレットなどを配布した．さらに，ITERサイトの建設状況，我が国が製作している機器の製作，現地への輸送のビデオを上映し，最新の進捗を紹介した．また，新たに作成したITERペーパークラフトは，多くの来訪者に興味をもっていただき，ITERを幅広くアピールすることができた．学会参加者には学生も多く，足を運んでいただいた学生からは，ITER機構が募集しているポストや応募する際の必要条件など多くの質問が寄せられた．企業展示会を通して，幅広い世代の学会参加者にITER計画およびITER機構職員募集について関心をもっていただくことができた．

詳細については，那珂ITERウェブサイト（http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/index.php）の「ITER機構職員募集について」をご覧ください．

図3　第11回核融合エネルギー連合講演会におけるITER展示ブース．

4. 量子科学技術研究開発機構のロゴマーク決定

量子科学技術研究開発機構（QST，量研機構）の発足に伴い，今後の量研機構の活動を広く社会に発信する際に，量研機構の統一的なイメージとして認識され，親しみをもっていただくことを目指して，量研機構のロゴマーク（QSTロゴ）が制定された（**図 4**）．QSTロゴは，突き抜けるスピード感，躍動感あふれるデザインで量研機構の活気溢れる研究活動を表している．また，未来・目標・夢・希望に向かって，勢いよく成長・発展・成功・飛躍していく様をイメージしている．なお，QSTロゴの制定にあたっては，インターネットを通じて量研機構内外に広く公募し，434 点の応募作品の中から，量研機構のロゴとしてふさわしい 1 点が選定された．

図4　縦型配置（左）と横型配置（右）の量研機構のロゴマーク（QSTロゴ）．

（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）

インフォメーション

ITERだより(60)

1. CS導体及びCSコイル製作の進捗

ITER計画において，中心ソレノイド(CS)は，日本は導体を製作し，米国はその導体を用いてコイルを製作する分担になっている．CS導体は，1辺49 mmの角形の導体で，576本のNb3Sn超伝導線と288本の銅線を用いるケーブル・イン・コンジット導体である．外径4.2 m，高さ2.15 mのモジュールを製作するために，長さ918 mの導体6本と613 mの導体1本が用いられる．CSは6モジュールで構成されるが，予備を含め7モジュールが製作される．

日本国内機関は，CS導体の製作を2012年から開始し，2016年8月までに，49本中32本の導体を完成し，26本の導体を米国に向けて出荷した．

米国では，General Atomics社がコイル製作を担当し，製作装置はカリフォルニア州 Powayにある．工程は，①受入検査，②巻線，③接続部及びターミナル準備，④積層及びパンケーキ間接続，⑤熱処理，⑥ターン絶縁，⑦対地絶縁，⑧真空含浸，⑨配管接続，⑩最終検査となる．まず，ダミー導体(銅線を用いた導体)でモックアップを製作しており，高さは実機より低く，実機モジュールが40層のところ，モックアップは16層である．各工程でモックアップの製作が成功した後，実機の製作に掛かっている．米国国内機関(US-IPO)からの情報によると，現在のところ，モックアップは⑥ターン絶縁が終了し，最初のモジュールは④積層及びパンケーキ間接続を行っており，二番目のモジュールは②巻線を行っている（**図1**）ところである．

2. 日本語図書の贈呈式がPACA国際学校にて開催

多くのITER機構職員および関係者が居住し，その子弟が通学するマノスク市にあるPACA(プロバンス・アルプ・コートダジュール）国際学校に，量研機構核融合エネルギー研究開発部門より日本語図書を寄贈し，その贈呈式が行われた．贈呈式では，ITER現地支援チームの中島チームリーダーより，森部門長からのメッセージと図書(384冊）の目録が，ベルナール・フロンサック校長先生に手渡され，校長先生と日本語セクション生徒代表からお礼の言葉をいただいた（**図2，3**）．

図1 ヘキサパンケーキの巻線(2番目のモジュール）
（米国国内機関より提供）.

図2 贈呈式の様子.

図3 図書を前に先生方との記念撮影.

3. ITERメディアデイ開催

10月6～7日にITER機構においてITERメディアデイが開催され，世界各国から合計14のメディアが参加した．6日は，ビゴ機構長をはじめとする関係者による講演（**図4**）およびITER建設現場の視察（**図5**），7日はITER参加各極におけるITER関連機器の調達状況に関する講演と，トゥーロンにあるCNIM社の視察が行われた．

4. ITER機構長来日，QST理事長と面談

2016年10月14日（金）に，ITER機構長ベルナール・ビゴが量子科学技術研究開発機構（QST）東京事務所にて平野俊夫理事長を表敬訪問した（**図6**）．およそ1時間にわたり，ITERプロジェクトの現状や，QSTの理念である「量子科学技術による調和ある多様性の創造」などについて，活発な意見交換が行われた．

平野理事長は，地上に太陽をという核融合の本来の直接の目的，すなわち人類にとり究極のエネルギー源を確保しエネルギー問題と環境問題の両方を解決する事，また多様性爆発の時代に，人類が未来を見据えて生き延びるために如何にして多様性の壁を乗り越えて多様性の爆発を防ぐ事が出来るかという観点についてビゴ氏に説明した．QSTの理念は量子科学技術による調和ある多様性の創造であること，また，ITERプロジェクトは現在様々な対立や問題を抱えている世界の7極（EU，ロシア，ア

図 4 ビゴ ITER 機構長による講演（写真提供: ITER 機構）.

図 5 中国中央テレビ取材班による ITER 建設現場の取材
（写真提供: ITER 機構）.

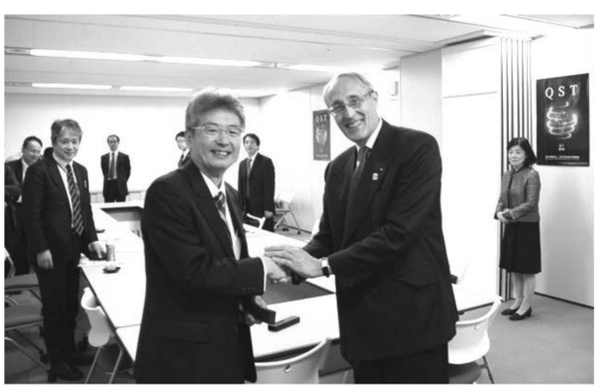


図 6 QST 平野理事長(左), ビゴ ITER 機構長(右).

メリカ，中国，韓国，インド，日本）が，科学技術という人類共通言語で多様性の壁を乗り越え相互理解と相互尊重を成し遂げ，調和ある多様性の創造に至るものであることから，QSTの理念の象徴的なプロジェクトがITER計画であると発言した．平野理事長はビゴ議長と意気投合し，QSTとして全力でITERプロジェクトを推進していく約束をした．

5. 第 21 回ITER科学技術諮問委員会（STAC-21）を木津川市で開催

2016 年 10 月 13 ～ 15 日の 3 日間，ITER理事会の諮問機関である科学技術諮問委員会の第 21 回会合が京都府木津川市の量研機構関西光科学研究所において開催された．会合には，鎌田裕議長(日本)の下，加盟 7 極(中国，欧州連合，インド，日本，韓国，ロシア，米国)の全STAC委員及び専門家並びにITER機構職員あわせて 37 名が参加した（**図 7**）．ITER機構からは，ビゴ機構長はじめ，李副機構長らが参加した．ITER機構以外でSTACが開催されたのは，今回が初めてである．STACでは，ITERの運転計画について議論され，成功裏に終了した．

図 7 第 21 回 ITER 科学技術諮問委員会参加者.

図 8 ITER 日本国内機関(JADA)展示ブースの様子.
天野 IAEA 事務局長にご高覧頂いた.

6. 第 26 回 国際原子力機関核融合エネルギー会議へブースを出展

10 月 17 日～ 22 日の 6 日間，国立京都国際会館で開催された標記会議に，量研機構はITER日本国内機関(JADA)の活動と幅広いアプローチ計画の活動を紹介する 2 つのブースを出展した（ブース展示は 21 日までの 5 日間）．JADAのブースでは，日本が分担する調達機器の状況，ITER職員公募，ITERの最新の建設状況，および 4 月に発足した量研機構の説明を，パネル，タブレット端末，ビデオを使って，訪れた 200 名以上の会議参加者に説明した（**図 8**）．活動を紹介する資料とともにブースで配布した，縮尺 1/300 と 1/600 の 2 種類のITERのペーパークラフトは，参加者に大変好評であった．また，ITER機構のブースでは，3Dバーチャル・リアリティーシステムを使って，ITERサイトの疑似体験ツアーが行われ，ITERの建設の状況が多くの参加者に伝えられた．

（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）

インフォメーション

ITERだより(61)

1. 第19回 ITER理事会開催：ITER理事会は重水素-三重水素運転までの更新された事業スケジュールを是認する

2016年11月16及び17日の第19回会合（**図1**）において，ITER理事会はITER機構により提案された，ファーストプラズマ(2025年)を経て重水素-三重水素運転(2035年）に至るまでの，完全に更新された事業スケジュールをレビューした． 全体事業スケジュールは全てのITER加盟極によって承認，全体事業コストは暫定的に承認，すなわち各極において各々の政府内の財政プロセスを通して事業コストの承認を目指すこととなった．ITER理事会は以下のように結論した．

事業における建設と製造は過去18ヶ月の間速いペースを維持し続け，完全に約束に忠実であることの具体的な証明を提供し続けた．2016年のこれまでの全19の事業マイルストーンの，時間通りかつ予算通りの，成功裏の完了は，更新されたスケジュールを継続して遂行するITER機構及び国内機関の集合的な能力を肯定的に示す指標である．

更新されたスケジュールにおいてファーストプラズマの後に選択された段階的アプローチは，段階的にITERの完成させることに焦点をあてること，そして各々の段階の間に核融合実験を遂行することにより，信頼性を増し，かつリスクを最小化する．このアプローチは全てのITER加盟極の優先度と制約に沿って前進する最善の方法である．

効果的な意思決定が継続した証拠，リスクの深い理解と緩和の促進，及び品質基準，安全及びスケジュールの約束の厳格な順守は，事業が現在のそのポジティブな機運を維持するであろうとの強い信頼の基を提供する．

理事会は，その監督機関による ITERガバナンスの効率を強化するための新しい方法を承認し，ITER理事会及びその補助委員会の議長を，第2期の1年に対して再任した．

ITER事業が急速に進んでいることを考えると，ITER理事会は，近づきつつある2017年3月のアヴィニヨンでのITERビジネスフォーラムを含む，国内及び国際の両方のフォーラムにおいて，科学及び産業界のコミュニティと関わりを持つ機会が増えていることを活用したいと述べた．理事会は，ITER機構及び国内機関にもこれらの機会を活用するよう奨励した．

理事会は，スケジュールの更新の成功裏の策定に対して，そしてスケジュール通りかつ予算通りに建設及び製造を力強く継続して実演していることに対して，ITER機構と国内機関を賞賛した．

理事会のプレス発表はITER機構のホームページ(英文)[1]でご覧いただけます．

図1 第19回 ITER 理事会出席者（ITER機構提供）．

2. TFインサートコイルの実験準備の完了

量研機構は，ITER機構及び米国国内機関の協力のもと，ITERのトロイダル磁場コイル用（TF）導体の性能確認試験のために，TFインサートコイル（TFIC）の試験を計画している．TFICは，約40 mの TF導体を直径1.44 mで約9ターン巻いて，ステンレス製の円筒構造物に収めたコイルであり，このような長尺な TF導体をコイル形状として性能試験を行うのは世界でも初めてとなる．TFICは，量研機構が所有する大型超伝導コイル試験装置に組み込まれ（**図 2**），超臨界ヘリウムを用いておよそ－269度という極低温まで冷やし超伝導状態とした後に，通電試験が行われる．この度，TFICはその製作及び

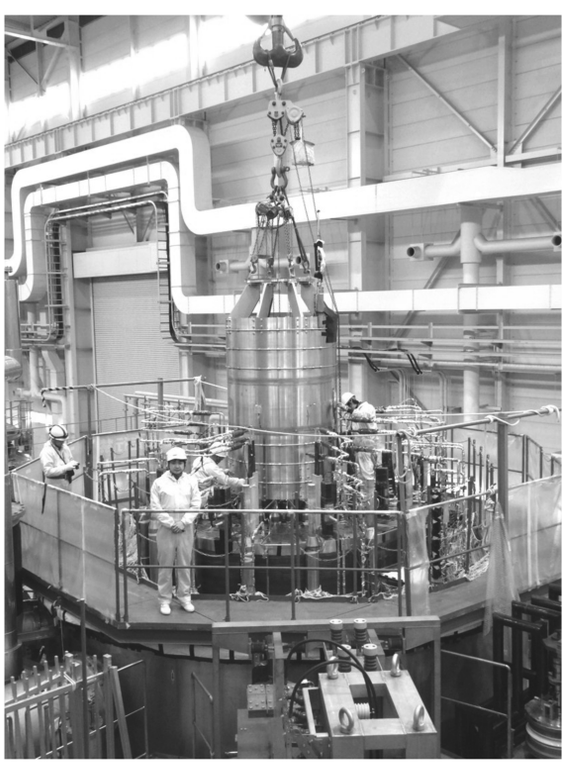


図2 TFインサートコイルの試験装置への組込みの様子.

試験装置への組込みを無事完了し，試験準備を整えた．

TFICの製作は，2013年の6月から2014年の12月にかけて行った．TFICは試験装置とのインターフェースのため，実機 TFコイルとは異なる製作技術開発が上記1年半という短期間で要求された．量研機構は，TFICの全ての製作ステップ，具体的には，巻線成形・ターミナル部製作及び溶接・熱処理・導体の円筒構造物への挿入・樹脂含浸工程について試作を行った．さらに，極低温での溶接部強度確認試験及び熱処理後の超伝導素線サンプル特性評価等の品質確認試験により，製作方法に問題が無いことを確認し，製作技術を確立した．

TFIC組込み作業は，2015年の11月から行った．**図2**は，TFICを大型超伝導コイルの内側に，わずか1 cmのクリアランスで吊り下ろしたときの作業風景である．組込み作業後，予荷重を与える作業，76個のTFIC用計測素子の配線，真空容器の上蓋閉止，高圧ガス完成検査を2016年3月までに実施して，9月よりTFICの冷却を開始した．今後，ITER TFコイルの定格運転条件である，最大磁場11.8 T，通電電流68 kAにおける導体性能の確認，1,000回の繰返し通電や3回の室温までの熱履歴による導体性能の変化，クエンチ試験などを行う予定である．

3. ITER NBTF用直流1 MV絶縁変圧器の組立完了

ITERの主要なプラズマ加熱・電流駆動装置である中性粒子入射装置（NBI）では，エネルギー1 MeV，電流40 Aの重水素負イオンビームを1時間連続で発生することが求められている．これは，既存のNBI装置と比べて，エネルギー・電流が共に2倍の高出力，パルス長は360倍であり，世界に類を見ない高い性能が求められている．このビーム性能を実証するためにITERに先駆け，イタリア・パドヴァのコンソルツィオ RFX研究所において，実機 NBIの実規模試験施設（NBTF）を建設している．量子科学技術研究開発機構（以下，「量研機構」）は，負イオン加速用の直流1 MV高電圧電源機器を製作し，順次 NBTFサイトに輸送し，据付け工事を実施している．このうち，NBTFにおいて世界で初めて実用化する直流1 MV絶縁変圧器は2016年9月中旬に NBTFサイトに到着し，10月までに据付け・組立てが完了した（**図3**）．

直流1 MV絶縁変圧器は，1 MVの高電位上に設置された電源機器に交流電力を供給するための変圧器であり，1次－2次巻線間で直流1 MVを絶縁する必要がある．しかしながらこのような変圧器は実例がなく，量研機構は製作メーカーと協力して変圧器内部の油絶縁紙の厚みや形状を工夫して直流1 MVを絶縁する構造を見出した．また，2次巻線の出力を1 MVの絶縁を保ちながら大気中に取り出すために，碍子製小型コンデンサブッシングと繊維強化プラスチック（FRP）円筒を組み合わせたコンパクトな複合ブッシングを新たに開発した．それでも，1 MVを絶縁するためにはブッシングの高さが16 mにもなるため，イタリアへの輸送時には変圧器本体から取り外し，NBTFサイトで再組立てを行う必要があった．

NBTFサイトの建屋内に搬入した重量約30トンのブッシングを，専用ジグ上に設置してジグごと吊り上げ起立させた．その後，ブッシングを門型形状の専用ジグに移し，ガイドピンで位置を調整しながら，ウィンチにより微動させ，1－2 mmの位置精度を維持して，変圧器側，ブッシング側それぞれの同軸型の絶縁構造体（絶縁バリア）同士をはめ合わせ，屋外に設置した変圧器本体と建屋壁を貫通する形で結合させた．この一連の作業は，高電圧電源機器の据付け工事の中で最難関工程の1つだったが，量研機構職員2名，機器製作メーカーの技術者4名，及びイタリア工事業者が緊密に連携して，安全かつ計画通りに完了させることができた．

4. ITERフルタングステンダイバータ試験体の実プラズマ環境下での性能試験準備が進展

ITERダイバータ調達準備活動の一環として，フランス原子力庁（CEA）カダラッシュ研究所のトカマク型核融合実験装置 Tore Supraにおけるタングステン（W）壁化改造計画（WEST計画）でのプラズマ照射実験のために送付したITERダイバータ・プラズマ対向ユニット（PFU）を模擬した試験体（3体）が CEA側の受入試験の後，真空容器内に設置された．WEST計画でのプラズマ照射実験は2017年1月末から開始され，プラズマ照射に対するITERダイバータ PFU試験体の耐久性を確認する予定である．

本試験体のWブロックのプラズマ照射面は平面となっており，ITERダイバータで採用されている Fish-scaleと

図3 1MV絶縁変圧器の組立作業．【左】屋内の複合ブッシング（高さ16 m），【右】屋外の変圧器本体．

図 4　CEA 側担当者と量研機構担当者による試験体確認の様子：量研機構製 PFU3 体と中国 ASIPP 製 PFU4 体．

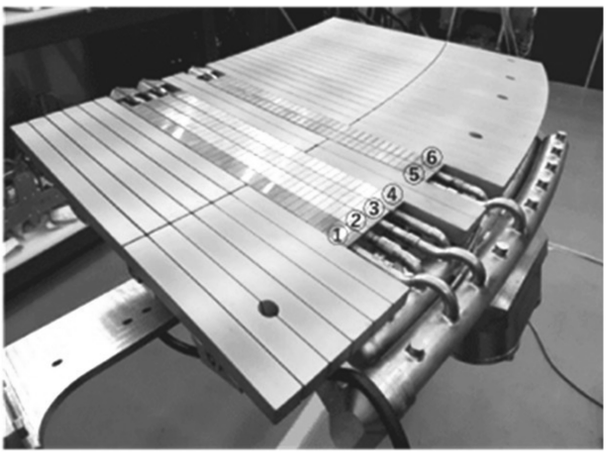


図 5　下部ダイバータモジュール：タサポートに設置・冷却管に接続された W モノブロック型 PFU．
①②④：量研機構が送付したもの
③⑤⑥：ASIPPが送付したもの

呼ばれるWモノブロックのプラズマ対向面全面にわたる傾斜加工は施工していない．これは，ITER ダイバータで採用予定のプラズマ照射面の傾斜の有効性(Wブロック端部における熱負荷の集中によって溶融が生じるか否か）を実プラズマ環境下で確認するためである．

CEA 側が実施した受入試験は，イオンビームによる加熱試験（10 MW/m^2・ 10 サイクル），加熱試験前後の赤外サーモグラフィ検査(W/銅合金製冷却管の接合部検査)及び表面形状測定，モジュール組立後（冷却管のマニフォールドへの溶接後）の高温ヘリウムリーク試験であり，これらの試験の結果，PFU 試験体に問題が無いことを確認した（**図 4**）．

下部ダイバータは全部で 12 のモジュールから構成され，そのうち 1 モジュールに量研機構製及び中国科学院プラズマ物理研究所ASIPP製のPFU試験体が設置された[2]．1 モジュールは 38 本の PFU から構成されるが，今回は JADA 製 3 体，中国 ASIPP 製 3 体の計 6 体が水冷式Wモノブロック PFU 試験体であり，残りはCEA 側が製作した炭素繊維複合材（CFC）製のブロック表面にWコーティングを施した慣性冷却型 PFU となっている（これを混合モジュールという．**図 5** 参照.）．W 壁化後の Tore Supra は 2016 年 12 月初旬にファーストプラズマに到達し，本モジュールを用いたプラズマ照射実験（キャンペーン 1）を 2017 年 1 月末より開始予定である．今回と同様の混合モジュールを用いた試験キャンペーン（3ヶ月）を 2018 年 12 月までに計 4 回実施する予定であり，後半では欧州国内機関(F4E)が製作する ITER ダイバータPFU 試験体も試験する予定となっている．

5. ITER 計画及び ITER 機構職員募集説明会の実施

量研機構は核融合エネルギーと ITER 計画への理解，ITER 機構への職員応募を促進するための広報活動を行っており，2016 年 11 月には，以下の 3 件の活動を行っ

図6　施設見学会における太陽観察．

た. 11 月 3 日, 那珂核融合研究所施設見学会にて, ITER 計画及び ITER 機構職員募集説明会を開催し,「イーターはどこまで太陽に近づいたの？」と題して太陽望遠鏡を用いて太陽観察を行うなど, 核融合に対する理解を深めるとともに, ITER計画の進展と職員募集について説明した（**図 6**）. また, 11 月 26 日には, 三菱みなとみらい技術館にて,「地上につくるミニ太陽」をテーマに講演と体験実験を行い, 核融合に関するクイズや日本の調達機器に関連した超伝導を使った実験を行った. 小学生を中心とした予定人数を上回る参加者からは, 太陽やイーターに関する熱心な質問が寄せられた. さらに 11 月 29 日～ 12 月 1 日の 3 日間, 東北大学で開催されたプラズマ・核融合学会にブースを出展した. ITER の最新の建設状況や職員応募の資料を配布するとともに, ブースに来られた方々からは, ITER 機構職員募集への関心を高めるための多くの貴重なご意見をいただいた. このような広報活動をとおして, 多くの方々に核融合エネルギーについて関心をもっていただけるよう, 今後も活動を続けていく.

（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）

[1] http://www.iter.org/doc/www/content/com/Lists/list_items/Attachments/708/2016_11_IC-19.pdf
[2] http://west.cea.fr/Images/astImg/53/Newsletter-WEST15.pdf

インフォメーション

ITERだより(62)

1. ITERトロイダル磁場（TF）コイル巻線部の対地絶縁作業を完了

量研機構は，日本が調達責任を有する，ITER向けトロイダル磁場（TF）コイルの製作を進めている．TFコイルの巻線部（WP）は，7体のダブル・パンケーキ（DP）で構成されており，各 DPの製作は，超伝導導体の長さを± 0.01%で管理する巻線作業（ITERだより 46号にて報告），冷媒入口部及びジョイント部の施工，650℃において± 5℃で温度を保持する超伝導生成熱処理作業（同 48号），熱処理済みの超伝導導体に 0.1%以上の歪を加えることなく 2層の巻線間にラジアル・プレートを挿入するトランスファ作業（同52号）及び導体外周に電気絶縁テープを巻き付ける導体絶縁作業（同 54 号），カバー・プレート（CP）溶接，DP絶縁及び樹脂含浸後のDPの平面度を± 1 mm 以内とするDP含浸作業（同 55 号）の順で進められた．今回，7体のDPを積層する積層作業，積層したDPの外周に対地絶縁用の電気絶縁テープを施す対地絶縁作業を実施した．

ITERでは，主要機器の調達の進捗を適切に管理するために，主要な作業についてITER理事会に報告するマイルストーン（ICマイルストーン）を設定し，これを厳守することが義務付けられている．TFコイルについては，1基目のWPの対地絶縁作業がICマイルストーンに設定されている．

この度，期日までにこの対地絶縁作業を無事完了した（**図 1**）．これは，ITER計画における大きな進展であり，また日本のプレゼンスを示す大きな貢献として，国内外から高い評価を得た．

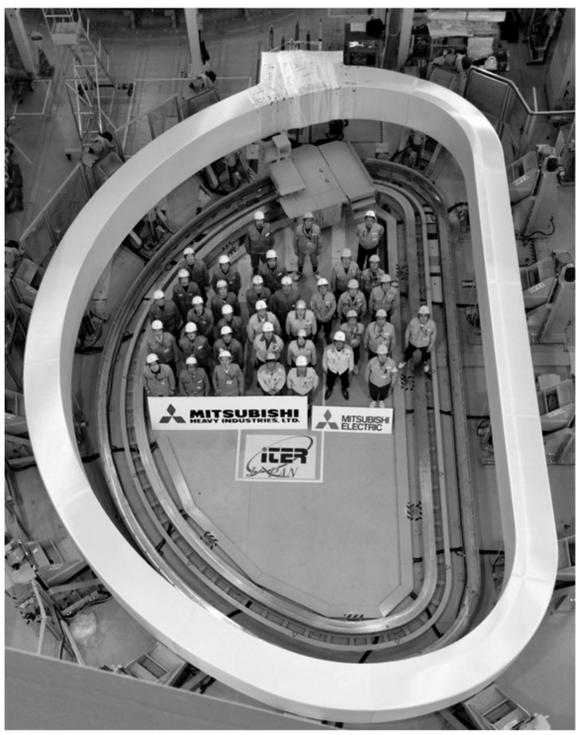


図1　対地絶縁作業を完了したTFコイル1号機の巻線部．

2. ITER用ジャイロトロン 1，2号機の製作完了

ITER電子サイクロトロン加熱・電流駆動（ECH/CD）システムは，24 基の 170 GHz, 1 MWジャイロトロン，24系統の伝送系，RFを入射する水平/上ポートランチャー（それぞれ 1/4 基）から構成され，合計 20 MWの 170 GHzマイクロ波入射を計画している．ジャイロトロンは，2025年のファーストプラズマ達成に不可欠な機器であり，日本のイーター国内機関である量研機構が，日本が分担する 24 基中 8 基のジャイロトロンを調達する．ジャイロトロンは，電子ビームを強磁場中で加速し，空胴共振器（以下，空洞と略す）で電子の回転エネルギーをマイクロ波に変換して出力する機器である．ITERジャイロトロンに必要な性能は，周波数 170 GHz，出力 1 MW 以上，パルス幅 400 秒以上，総合効率 50%以上であり，2007 年にプロトタイプジャイロトロンの実験でこの性能を実証した［1］．この時，空洞での表面熱負荷は許容限界に達しており，ITERにおける長期間繰り返し運転時にも空洞が

図2　世界で初めて完成したITER用ジャイロトロン．

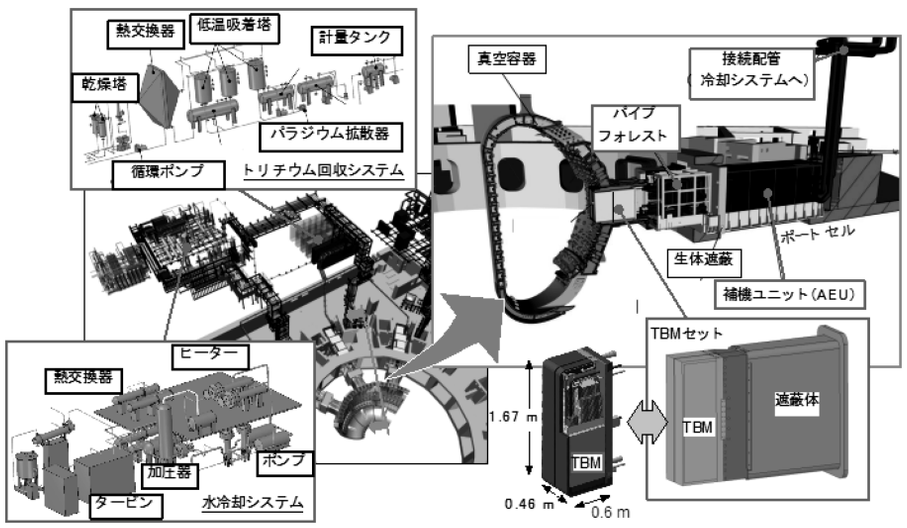


図3　日本のテストブランケットモジュールと付随する補機システム
（マゼンタの線で囲まれたものを設計製作してITERに持ち込む）.

損傷しないよう, 空洞の内径を10%拡大して熱負荷を約30%下げる設計改良を検討してきた. しかしながら空洞の拡大は異なる周波数のマイクロ波（競合モード）の発振を誘起し, 安定した170 GHzマイクロ波（正規モード）発振を妨げる現象を観測した. そこで, 日本のジャイロトロンが有する三極管電子銃の特徴を活かし, マイクロ波の発生開始時や発生中に電子ビームの大きさや電子の回転エネルギーを変化させ, 従来より電子ビーム径を大きくし, かつマイクロ波の発生開始時に電子の回転エネルギーを緩やかに増加させることで競合モード発生を抑制し, 正規モードのみを発振させるという運転シナリオの開発に成功した. この結果, 空洞の熱負荷を抑制しつつ, 長期間安定した1 MW運転ができる見通しが得られた. また, 5 kHzでの1 MW変調運転や, 2000秒間に1 MW, 400秒のパルスを10ショット（デューティ比0.2）連続運転するなど, ITERで想定されている過酷な運転条件も実証し, 信頼性が向上するジャイロトロン開発に成功し, 実機に反映した. このような改良や性能実証試験による実証を経て, 2016年よりITERジャイロトロン実機2機分の製作に着手し, 世界で初めてITERジャイロトロン実機が完成した（**図2**）.

3. テストブランケットシステム概念設計の完了

ITERの達成目標の中で,「燃料トリチウムの自己補給」と「発電のための高品質の熱の取出し」は, テストブランケット試験計画をなくしては達成が証明できない目標である. テストブランケットモジュール（TBM）の設計製作, 試験については米露を除く5極が行うこととなっている. 真空容器水平ポート3箇所に2台ずつ計6台のTBMと, 各々のTBMに付随する補機システム計 6 式がITER建家内に設置される（**図3**）. 日本は水冷却固体増殖TBMの担当として, 2014年11月にITER機構とTBM取決めを締結し, 2015年2月に概念設計レビューを受けた.

ITERでは概念設計, 詳細設計, 最終設計の3段階に分けて設計を実施する. 各々の設計レビュー後, 重要な摘出課題に解決の見通しを得ることで設計が承認となり, 次の段階に進むことができる. 今回, 日本が概念設計レビューで指摘された重要課題は1）放射化された冷却水からの放射線の遮蔽, 2）TBM冷却系熱交換器の事故解析である. 1）について, 核融合中性子の照射を受けた冷却水は, 分子を構成する酸素が放射性窒素に変わる. 半減期は短く, プラズマ停止後は速やかに消滅するが, 運転中は配管に沿って強いガンマ線を放射すると指摘された. 運転中は人が立ち入らない場所であることから, 人体への影響は極めて小さいことが判明したが, 電子機器を想定したシリコンのガンマ線吸収線量は大きく, 基準

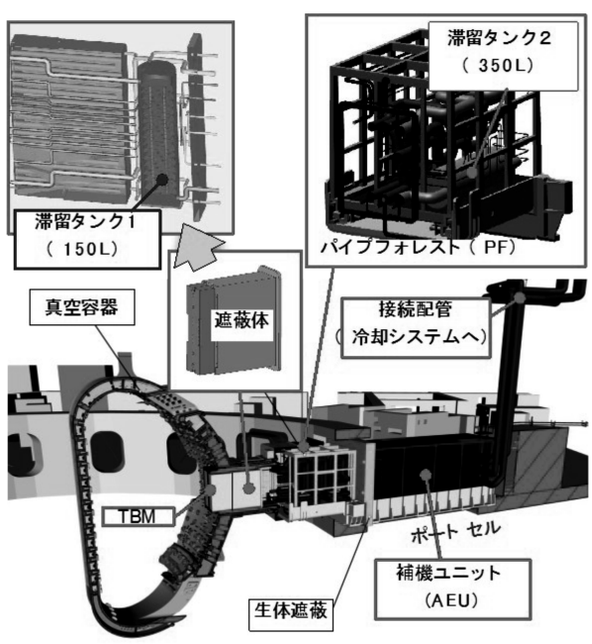


図4　遮蔽体とパイプフォレストに滞留タンクを設置しAEU内の線量を1/2000に低減.

に照らすとAEU に設置する安全上重要な電子機器では鉛にして最大 25cm厚の遮蔽が必要と推定された．緩和策として生体遮蔽の内側に滞留タンクを設置(**図 4**)，特に遮蔽体内部の空間まで利用して容積を稼ぎ，線量を 1/2000 まで低減した．遮蔽材を 1 〜 6 cm まで低減できることを示し，成立性が認められた．2）については，熱交換器の伝熱管破断時の圧力，温度，トリチウム濃度の 2 次冷却系への伝播応答を評価した．その結果，熱交換器に圧力逃し機構を設けても，2 次冷却系は設計温度を超え，トリチウム濃度については基準が満たせないことが判明した．そこで，TBM 冷却系 と ITER 2 次冷却系の間に中間熱交換ループの設置を提案し承認された．これら重要課題の解決によって，2016 年 11 月に概念設計がITER機構に承認された．残る課題の解決と設計の詳細化を進め，2019年9月頃に詳細設計レビューを受ける予定である．

（量子科学技術研究開発機構
核融合エネルギー研究開発部門）

[1] K. Sakamoto, A. Kasugai, K. Takahashi *et al.*, “Achievement of robust high-efficiency 1 MW oscillation in the hard-self-excitation region by 170 GHz continuous-wave gyrotron” Nat. Physics 3, 411-414 (2007).

インフォメーション

ITERだより(63)

1. 直流１MV超高電圧電源機器の製作完了

ITER用中性粒子入射装置（NB）で求められている，世界最大出力の負イオンビーム（エネルギー１MeV，電流40 A，運転時間連続１時間）の実現に向けて，ITER実機に先駆け，実機と同一性能である実機試験施設（NBTF）をイタリアに建設中である．このたび量研は，このNBTFで１MeVビーム加速に必要な直流１MV超高電圧電源機器（電圧１MV，電流60 A，運転時間連続１時間）の製作を完了した．

図１に本機器の全体像を示す．まず欧州側から供給される6.5 kVの低電圧を昇圧変圧器で0.2 MVに昇圧し，ダイオード整流器を通じて整流し，これを５台繋ぐことでイオンを加速するための１MV高電圧を発生させる．次に，リップルを除去する直流フィルター，全長約100メートルに及ぶ伝送ライン，さらに，１MVのイオン加速電圧に加えて，その１MV高電位上に設置されるイオン生成電源に電力を供給する１MV絶縁変圧器，組立てた後に耐電圧性能を確認するための試験用電源（1.3 MV，10 mA），短絡ギャップ装置，及び模擬負荷抵抗から構成される．2012年２月にITERと調達取決めを締結し，設計期間を経て約５年かけて2017年３月までにこれらすべての電源機器の製作を完了した．

この機器の実現に向けては，変圧器の油絶縁，伝送ラインのガス絶縁，HVブッシングの真空絶縁などの多様な１MV直流高電圧の絶縁技術の開発，これら油・ガス・真空の境界を構成するブッシングの開発，さらに大電源システム全体で整合性のとれた耐震性・熱伸び吸収構造の確立などの技術課題があった．油絶縁構造では，直流電圧印加時間と共に，内部の油絶縁構造物上での電界強度が上昇して絶縁破壊に至ることが問題であった．そこで，この電界集中を抑制するよう，絶縁体の厚みや形状を工夫した絶縁構造を考案した．伝送ラインは，６気圧の絶縁ガスを保持する圧力容器内に各種導体が配置されているため，対流も含めた熱解析，耐震解析，電界解析を通じ，熱伸びや耐震時の変位を許容しつつ電圧を維持できる構造を見出した．ブッシングについては開発試験で性能を確立してきた．これら開発・設計を経て，各機器はITERの要求値である1.2 MV，１時間の耐電圧試験に合格し，順次，NBTFサイトに輸送され，2015年12月から現地工事を開始した．現在，全体の約８割の機器の組立てを完了し，残りは欧州が作る機器の工事期間と調整を図りながら，2017年度内には据付完了，2018年に現地での統合試験を終了する計画である．

図1　直流１MV超高電圧電源機器の全体像.

2. ITERビジネスフォーラム（IBF2017）の開催

３月28日～30日にフランスのアヴィニョンにて2017年ITERビジネスフォーラム（IBF2017）が開催された．ITERビジネスフォーラムはITERプロジェクトを通じた関係各国（日本，中国，韓国，米国，インド，ロシア）の産業界と核融合研究との共通理解とパートナーシップを強化促進し，産業界を対象にITER計画の最新状況，調達手順，今後予定される製作機器の情報開示を目的として毎年開催されており，本年は436社，1008名を集めてアヴィニョン旧教皇庁内の会議場で開催された．各国内機関やITER機構からの基調講演を含む約90件の講演，企業，各国内機関及びITER機構のブース展示，そして多数の個別ビジネス会合で構成されている．ITER日本国内機関である量研からもブース展示を行い，ポスター掲示や写真集の配布により量研が担当する機器の紹介をし，特に製作フェーズにあるトロイダル磁場（TF）コイルや中性粒子入射加熱装置（NBI），ジャイロトロンの製作状況等と製作計画，さらに今後の現地作業計画等の説明を行った（図2）．配布した写真集は調達機器の状況を見ることができ，多くの来訪者から好評を得た．また参加企

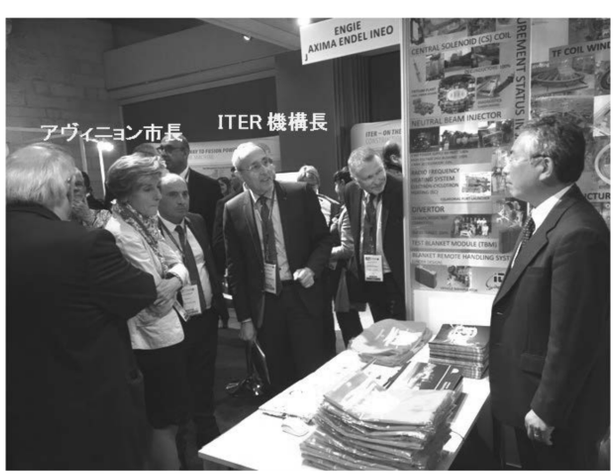


図2　量研展示ブースを訪問したアヴィニョン市長とITER機構長．

図3　第23回ITER企業説明会にて講演される松浦文科省研究開発戦略官.

図4　三菱みなとみらい技術館（横浜市）でのITER説明会.

業は本フォーラムの個別会合を通した情報交換が新たなビジネスの契機となり，これにより，ITERプロジェクトの機器製作活動の円滑化に大きく貢献するものであった.

3. 第23回ITER企業説明会を開催

3月10日，34団体から55名の参加者を迎えて，東京八重洲において第23回ITER企業説明会が開催された.まず，文部科学省 松浦研究開発戦略官より，核融合エネルギー研究開発の展望，ITERを含めた各プロジェクトの進捗状況等を説明いただいた（**図3**）. さらに，今回はITER機構 小野塚中央統合本部長より，ITERサイトの建設状況，真空容器等の各機器の現地据付・組立に対する基本方針及びスケジュール，ITER機構が新たに設立した人材派遣プログラムであるITER Project Associate（IPA）について説明いただいた.

また量研那珂核融合研究所 草間副所長より，日本が分担する機器の調達状況やITER機構への日本人派遣の状況について説明された.日本が分担する機器については，約90%の調達取り決めを締結し，その中でも超伝導コイル関係やジャイロトロンの製作が進んでいることを示した. 加えて，ITERダイバータ，ジャイロトロン，計測装置のひとつであるマイクロフィッションチェンバーの各概要，現在の調達状況や製作スケジュールなどを各機器の担当者が詳説した.説明後には参加された企業の方より，ITER機構への日本人職員の派遣に関するご質問をいただき，それに対し，今後はIPAを通して，各極から計150名の人材の募集を行っていくが，その中で日本人職員の増員を図っていく旨，回答した.

本企業説明会の詳細については，ITER Japan ウエブサイトの「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）

4. ITER計画及びITER機構職員募集説明会の実施

量研はITER日本国内機関として，核融合エネルギーとITER計画への理解，ITER機構への職員応募を促進するための活動を行っている.

3月15日～17日，富山大学で開催された平成29年電気学会全国大会にブースを出展し，ITER機構職員募集の説明を行った.来訪者にITERの最新の建設状況や職員応募の資料を配布するとともに，動画を用いて日本の調達機器製作の紹介や3Dバーチャル・リアリティーシステムを用いてITERサイトの建設現場の様子をご覧いただいた.

また3月20日には，三菱みなとみらい技術館にて，「地上につくるミニ太陽・イーターってなに？」と題して核融合やITERの解説及び実験を行った（**図4**）. 参加された方々には，ITERに使われる技術である超伝導や人工ダイヤモンドを利用した実験を体験していただき，この実験を通してITERの技術を知っていただいた. また，今回は太陽望遠鏡を使用して太陽の観察を行い，核融合反応によって太陽は輝いていることを説明した.実験の最後には，小学生を中心とした参加者との質疑応答を行い，液体窒素や超伝導に関する質問を受け，核融合エネルギー及びITERについて，より一層ご理解をいただけた.

今後もこのような広報活動を通して，核融合エネルギーやITERを幅広い分野の方々にアピールをして，理解を深めていただけるよう活動を続けていく.

5. ITER Japan新体制が発足

新年度となりITER Japanの体制を強化している. TFコイル・構造物の初号機の完成に向け，超伝導コイル，導体の調達を担当するグループを一つとし，超伝導磁石開発グループを設置した（**図5**）. 今後のITERサイトでの建設作業の本格化を見据え，ITER機構へ産業界からの人材を送るためにITER連携推進グループを設置すると共に，ITER現地支援グループをITER機構本部ビル内に移転した. 引き続き，ITER日本国内機関として，ITER計画を推進していく.

6. 日本版ITER フォトブック2016の発行

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た（**図6**）. 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サイトの進捗状況の写真を掲載し，ITER計画全体の進捗

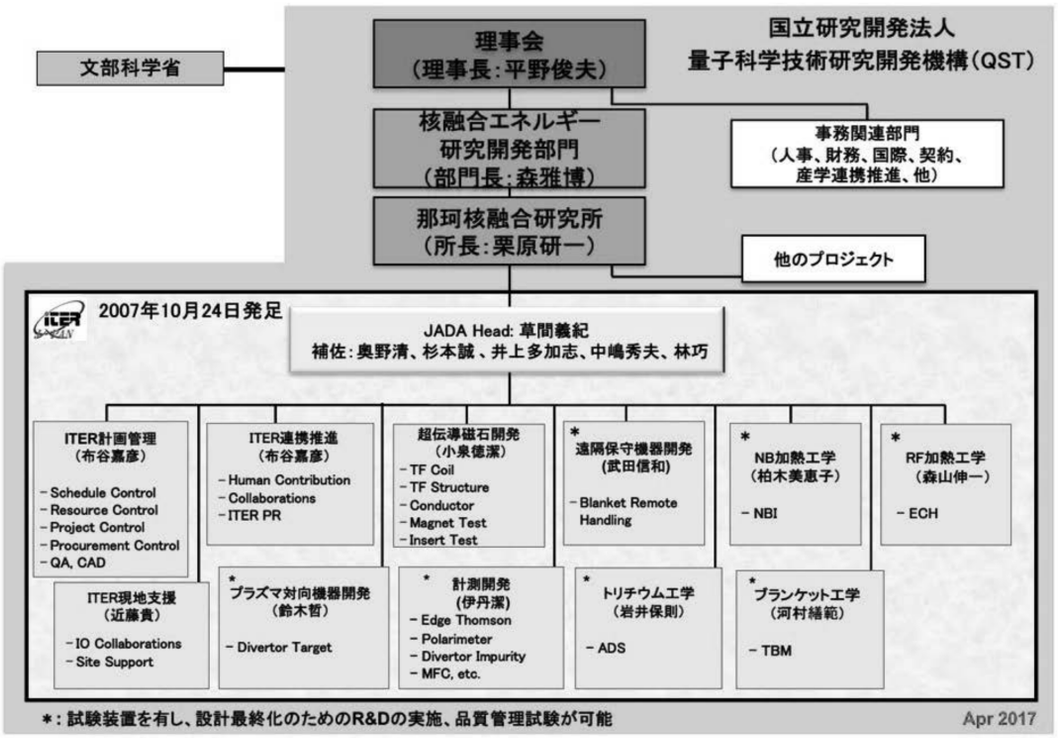


図5 ITER Japan体制.

図6 発行された日本版ITERフォトブック2016.

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作成している. 今回発行した2016年版は，全66ページで構成され，日本は中性粒子入射装置の輸送及び現地据付，トロイダル磁場（TF）コイルの製作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.

日本版フォトブック2016のアクセス先（ITER Japan ウエブサイト）

（http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/images/page/247/170407_ITER_PHOTOBOOK_2016_JA.pdf）

（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）

インフォメーション

ITERだより(64)

1. 第20回ITER理事会開催：第20回ITER理事会は2016年ベースラインに沿ったプロジェクトの力強い進展を認める

サン･ポール･レ･デュランス，フランス（2017年6月22日）-サイトでの急速な建設の進展と各極の世界中に広がった製造拠点から搬入される機器の達成されたマイルストーンの報告は，ITER理事会が，建設の完了前に多くの課題が残っていることを十分に認識しつつ，ITER計画が成功への軌道に乗っていることを判定するための2つの主要な指標であった．理事会メンバーは，ITER計画の使命と展望への共同でのコミットメントを再確認した．

2017年6月21日及び22日の第20回会合（**図1**）において，ITER理事会は，極度に厳しいスケジュールと挑戦的な技術要求に取り組む一方で，ITER計画が高い実績を継続し，2025年のファーストプラズマに向けてスケジュール通りであることを明らかにする，詳細な一連の報告書と指標をレビューした．

プロジェクトマイルストーン：2016年1月1日以来，理事会に承認された22のマイルストーンが達成され，全体事業スケジュールとクリティカルパスの厳格な順守を維持している．わずかな遅れを示している2つのマイルストーンは，ファーストプラズマスケジュールを回復し，維持するための緩和策が導入されている．

リスク管理：ITER理事会は，リスク管理に関する深堀独立レビューパネルより最近受理した報告書を是認した．理事会は，この一年のこれまでのITER機構と国内機関によるこの分野における重要な進捗を強調し，ITER機構と国内機関に対しさらなる改善のために報告書の勧告に従うよう要請した．トカマク建屋の建設，真空容器セクターの製造，真空容器内遮蔽の製作のようなクリティカルパスとなる分野で予期される課題に共同で対処するために，プロジェクト全体のリスク管理履行に対する改善がなされている．

組織改革：2015年3月に機構長から提案された行動計画に基づく改革は基本的に完了した．効率的な意思決定，コスト抑制，システム工学，プロジェクトコミットメントの遵守，成功に不可欠な他の側面，において実質的な利益が効果的にもたらされている．原子力プロジェクト文化の促進は，継続的な学習と改善へのコミットメントを必要とし，従って，厳しい評価はプロジェクトの継続した特徴である．

ITER加盟極の共同コミットメント：理事会は，いくつかの参加極が直面する －技術的，政治的，財政的－ 課題を認めて率直な議論を行った．理事会メンバーは，短期的，長期的なプロジェクトの価値についての彼らの強い信念と，ITERの使命と展望への共同コミットメントを再確認した．理事会はこのコミットメントを尊重する，ITERの成功を引き続き支える解決策を見つけるために共に働く事を決議した．理事会は欧州原子力共同体のITERへの参加に関する欧州委員会の最近の伝達文書を歓迎した．

最近の強力なプロジェクトの実績を反映し，ITER理事会議長ウォン・ナムクン教授はITERの成功に不可欠な課題について認めた．「燃焼プラズマを実証できる能力のフルスケールのトカマクの建設は，途方もない複雑さを乗り越えることを要求する．成功のためには多国間協力が不可欠であるが，自然とさらなる複雑さを生み，並はずれたマネジメントとチームワークが要求される．理事会は，すべてのITERチーム －機構長からすべての職員，契約企業，納入企業，等の全体－ によるプロジェクトを成功に導く効果的な協力へのコミットメントを祝福した．理事会は，プロジェクトの実績の詳細な監視と，この達成のペースの維持に必要なサポートの提供を続ける．」

理事会のプレス発表はITER機構のホームページ（英文）[1]でご覧いただけます．

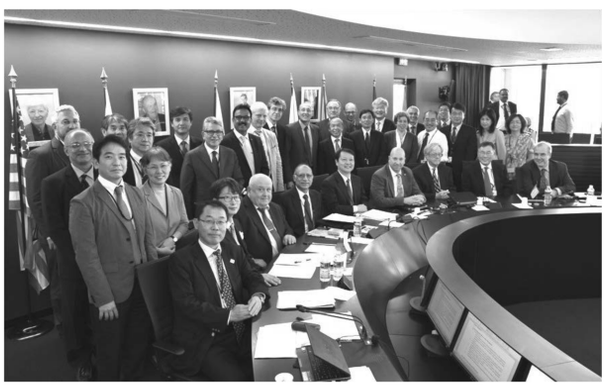


図1　第20回ITER理事会出席者（ITER機構提供）．

2. ITERトロイダル磁場コイル構造物の製作進展

ITERで用いられる全てTFコイル構造物（全19基）は

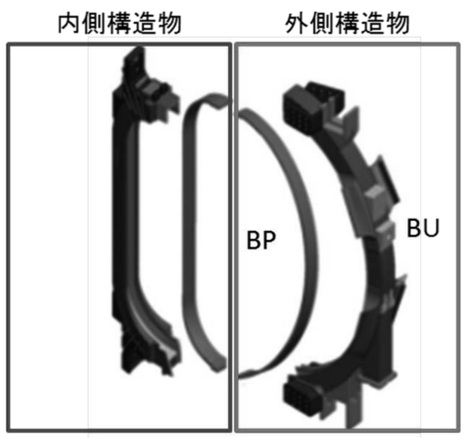


図2　ITER-TFコイル構造物の構成.

図3　4つの部材を組み合わせたTF外側構造物BUの初号機.

図4　プラズマ側のTF外側構造物BPの初号機.

日本が分担し，開発を行っている．TF 構造物は内側構造物，外側構造物に分けて製作を進めている（**図 2**）．現在，その初号機の製作が進展している．

外側構造物は，①４つのベーシックセグメントと呼ばれる部材をつなぎ合わせて製作する（BU），②プラズマ側の曲がり鋼板（BP）から構成される．今回，その BU,BP の組立が完了した（**図 3**，**図 4**）．この外側構造物は，今後最終加工，内側構造物との取合い確認を経て，年内に欧州が分担する TF コイルの製作を行う工場へ輸送する予定である．

3. 第 22 回ITER科学技術諮問委員会（STAC-22）の開催

5 月 16 日～ 18 日の 3 日間，ITER 機構（IO）本部において第 22 回 ITER 科学技術諮問委員会（STAC-22）が開催された（**図 5**）．日本からは鎌田裕議長（QST）に加えて２名の委員（山田弘司（NIFS），坂本慶司（QST））及び３名の専門家（寺井隆幸（東大），井上多加志及び鈴木哲（QST））が出席した．前回の ITER 理事会（2016 年 11 月）で求められたチャージ（i)ファーストプラズマへの

図5　第22回ITER科学技術諮問委員会（STAC-22）の様子.

技術課題 ，ii)ITER 研究計画への段階的アプローチの適用，iii)容器内コイル・誤差磁場補正コイルの進捗）について，初日から２日目の午前中までに 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て IO から事前に配布されたインプット文書と発表をもとに協議を行った．その結果，ディスラプション緩和システム（DMS）設計に柔軟性を確保すべきこと，非対称回転垂直変位（VDE）時の影響の理解を進めること，加熱装置の据付を加速すること，等の提言を取りまとめて ITER 理事会に報告した．

4. ITER計画及びITER機構職員募集説明会の実施

6 月 4 日に JR 水郡線上菅谷駅前にて開催されたガヤガヤ☆カミスガにブースを出展し，ITER 計画について説明を行った．今回のイベントでは，太陽望遠鏡を用いた太陽観察や液体窒素を用いた実験も行い，子供から大人まで多くの方にブースを訪れていただいた．太陽の説明においては，実際の太陽を望遠鏡で観察していただくとともに，ボールと鉄球を用いて太陽と地球の大きさの比較を行い，太陽の中で起きている核融合反応がとても大きなエネルギーであることを知っていただいた（**図 6**）．また，液体窒素を用いた実験では，ITER の調達機器に関連した超伝導を使った人間浮上の実験等を行った．このイベントを通して，当研究所が行う研究開発を幅広い方

図6　ガヤガヤ☆カミスガでの太陽観察.

に知っていただき，核融合やITER計画について理解を深めていただいた．

また6月2日には東京工業大学の第5回先導原子力研究所コロキウムとして，「国際熱核融合実験炉 ITERの建設と日本の貢献」と題したITER計画説明会を開催した．この講演では，南仏サン・ポール・レ・デュランスの ITER建設サイトの最近の様子，日本が分担するトロイダル磁場（TF）コイル，中性粒子入射装置実機試験施設（NBTF），電子サイクロトロン加熱（ECH）装置のジャイロトロン等の実機製作の進捗を紹介するとともに，ITER機構職員公募さらには，ITERプロジェクトアソシエイツ（IPA，企業，大学等原籍のまま，ITER機構においてパートタイムまたは有期で ITERの業務に従事する制度），学生が参加するインターン制度についても説明した．ITER職員公募への応募では日本の定型履歴書は評価されず，ITER 機構が公開する職務明細（Job Detail）に則した形で自分の経験と業績をアピールする必要があることを紹介し，特に学生等の興味を引いた．

（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] http://www.iter.org/doc/www/content/com/Lists/list_items/Attachments/735/2017_06_IC-20.pdf

インフォメーション

ITERだより(65)

1. 日本において，インボード側コイルケースの第１号機製作完了

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向けトロイダル磁場（TF）コイルの製作を進めている．TFコイルケースは，中に巻線部を格納して巨大な電磁力を支持するコの字断面の主構造物と，巻線部格納後にプラズマ側から被せるカバー・プレートで構成される．また，1号機のコイルケースは，インボードとアウトボードに分けて，それぞれ，三菱重工及び現代重工が分担して製作を進めている．

コイルケース用の材料には，6万トンにも及ぶ巨大な電磁力が加わるため，運転温度の4Kでも良好な靭性を満足した上で，非常に高い強度が要求されている．このため，4Kで1,000 MPaの耐力及び180 MPa$\sqrt{m}$の靭性を担保するように，特別に開発したステンレス鋼（JJ1）を高応力部に使用している他，窒素含有量を0.2%程度まで高めた高強度のフルオーステナイト（316LN）ステンレス鋼を使用している．その上ほぼ全てが極厚材であることから，これまでに製造経験のない大型鍛造材料の開発，製造を進め，2014年4月から，コイル容器の製作に着手した．

TFコイルケースは，長さ16 mにも及ぶ巨大な構造物であり，上記の材料を溶接で組み上げ，機械加工で仕上げている．コイルケースは，10 mを超える大型構造物であるにもかかわらず，1 mm以下の公差が要求されており，通常の大型溶接構造物で超高精度と言える溶接変形量の公差（約1/1000）に比べても，1ケタ以上上回る高精度の要求となっている．これに対して，溶接部は最大200 mmを超える極厚のものとなり，溶接変形の制御が大きな課題であった．インボードの製作では，溶接変形を測定しながら，溶接変形を打ち消すように，表裏面から溶接を行うことで，この課題を解決することに成功した．

また，大型構造物用の高精度機械加工機の使用に加え，加工時の構造物の温度変化による熱収縮の影響も制御しながら，機械加工を実施することで，最終製品として，1 mm以下の公差も達成している．

以上のようなチャレンジングな要求を満足させるために，量研，製作メーカー，ITER機構が一丸となって最大限の努力を行い，インボード側コイルケースの第1号機の完成に漕ぎつけた．その最終検査として，インボード部主構造物とカバープレートの仮組試験を実施し，14 m以上の溶接開先において，±0.3 mmの厳しい公差を達成できていることを確認した．加えて，仮組試験では，約半日で主構造物とカバープレートを組上げることができている．

この第1号機のインボード側コイルケースは，今後，同号機のアウトボード側を量研との契約の下で製作している現代重工にて，アウトボード側コイルケースとの仮組試験を実施し，巻線部の製作とコイルケースとの一体化を担当する欧州にインボード，アウトボード共に送付される予定である（**図1**）．2017年7月21日に，インボード側コイルケースは，三菱重工から現代重工に向けて出荷された．

図1　インボード側コイルケースの第1号機，三菱重工から現代重工への出荷準備完了．

2. ITER NBTF用高電圧電源機器の最終輸送便がイタリアに向けて出港

ITER中性粒子入射装置（NBI）で要求される高出力負イオンビーム加速を確実にするため，イタリア・パドバにNB実機試験施設（NBTF）を建設中である．量研は，NBTFに必要な1 MV高電圧電源機器の製作を2012年から開始し，2015年8月からNBTFサイトに向けて機器を順次搬出し，現地での据付工事を進めてきた．この度，すべての機器を完成し，最終輸送便が8月1日に日立港を出港した（**図2**）．

NBIはITERにおける主要なプラズマ加熱装置であり，エネルギー1 MeV，ビーム電流40 A，連続出力時間1時間の性能が求められる．これは，既存のNBI機器に比べてビームエネルギー，電流がそれぞれ2倍，出力時間が360倍となる高い要求性能である．そこでITER実機に先立ち，実機と同一性能を有するNBTFをイタリア・パド

図2　NBTF用高電圧電源機器最終輸送便の出港（茨城県日立市の日立港にて）．

バのコンソルツィオ RFX 研究所（以下，RFX 研）内に建設中である．

量研は，2012 年，NBTF 用直流 1 MV 高電圧電源機器の製作に関して ITER 機構と調達取決めを締結し，同年，製作契約を締結（受注者：（株）日立製作所）して機器の製作を開始した．本機器は，全長が 100 m にも達する大規模なものであり，直流 1 MV を発生する直流発生器，直流出力からリップルを除去する直流フィルター，接地側から直流 1 MV の電位上の負イオン生成部に電力を供給するための 1 次－ 2 次巻線間で直流 1 MV を絶縁する 1 MV 絶縁変圧器，3 つの電源伝送ライン，絶縁ガス中の電力導体・配管を真空中に絶縁導入する高電圧ブッシングなど，多数の機器で構成されている．量研は，完成した機器を段階的に輸送し据付けを行うために工程調整を図り，全体工程の遵守と機器の保管期間・場所の最小化に努めた．また，事前にイタリア国内の陸送ルートの調査を実施して輸送制限寸法を割り出した結果，多数の機器を分割して輸送せざる得ないことがわかったが，現地での再組立て作業の増加は，作業エラーや塵埃混入など，機器の性能に関わるリスクの増加につながるため，対策として，分割数をできるだけ減らし，さらに機器筐体内の内包機器を外さずに運べるよう輸送姿を工夫した．また，現地での再組立てにあたっては，製作メーカーの協力を得て再組立要領書を用意し，量研の現地駐在員（常時 2 名）による管理体制の下，RFX 研の契約業者作業員約 20 名とともに作業を進めた．このようにして，これまで計 5 便の輸送を完遂し，全体の 9 割の機器の据付が完了している．

今回，第 6 便となる最終便では，本年 3 月までに完成した伝送ラインの一部，本電源機器の動作試験時に使用する模擬負荷抵抗，直流 1.3 MV 出力の試験用電源等を積載し，8 月 1 日に日立港からイタリア・マルゲラ港に向けて出港した．これにより約 5 年にわたり製作してきた NBTF 用高電圧電源機器の出荷が完了した．

今後は，今回出荷した機器が 10 月初旬に NBTF サイトに搬入されて据付けられ，2018 年度中に日本調達機器の試験検査を完了させる予定である．

3. 第 13 回日韓核融合研究協力における合同主調整役会合を那珂核融合研究所にて開催

第 13 回日韓核融合研究協力における合同主調整役会合（13th Joint Coordinators’ Meeting, JCM13）が，2017 年 7 月 6 日に量研那珂核融合研究所で開催された．日本からは文部科学省，量研，核融合科学研究所から 16 名，韓国からは未来創造科学部（MSIP），韓国国立核融合研究所（NFRI），全北大学から 9 名，合計 25 名が参加した（**図 3**）．

この会合では，両国の核融合研究開発に関する報告がそれぞれ行われ，引き続いて，2016 年度の核融合分野における研究協力（ITER 技術協力，KSTAR 協力，人材育成）の実績が報告され，さらに，2017 年度の両国の研究協力の作業計画が提案され，承認された．両国の核融合研究における主調整役である松浦重和文科省研究開発戦略官とイム・チェグウォン韓国未来創造科学部課長補佐が会議録に署名を行い，会合が成功裏に閉会した．次回の会合は 2018 年に韓国で開催されることとなった．

会合後，出席者は，那珂研にて建設中の JT-60SA（大型超伝導トカマク装置）の見学を行い，また見学後，NFRI と量研の機関間協力で実施した ITER ソレノイドコイル用超伝導撚線の性能評価に関する協力が成功裏に完了したことに対して，量研那珂核融合研究所 栗原研一所長から NFRI のキム・キマン所長へ感謝楯が手渡された．

本会合により両国の核融合研究協力の進展のみならず，研究者間の友好的な関係を確認することができた．今年度も引き続き，両国における核融合研究協力が友好的に進められていく．

4. 第 4 回日中韓 ITER 国内機関技術会合の開催

日本，中国，韓国による第 4 回日中韓 ITER 国内機関技術会合が，中国科学技術部雲南省局の支援を受けて 2017 年 8 月 2 ～ 4 日に中国雲南省昆明市の世紀金源大飯店で開催された．会議には各国の政府関係者を含め，日本から 9 名，中国から 37 名，韓国から 11 名の 57 名が参加した（**図 4**）．この会議では，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

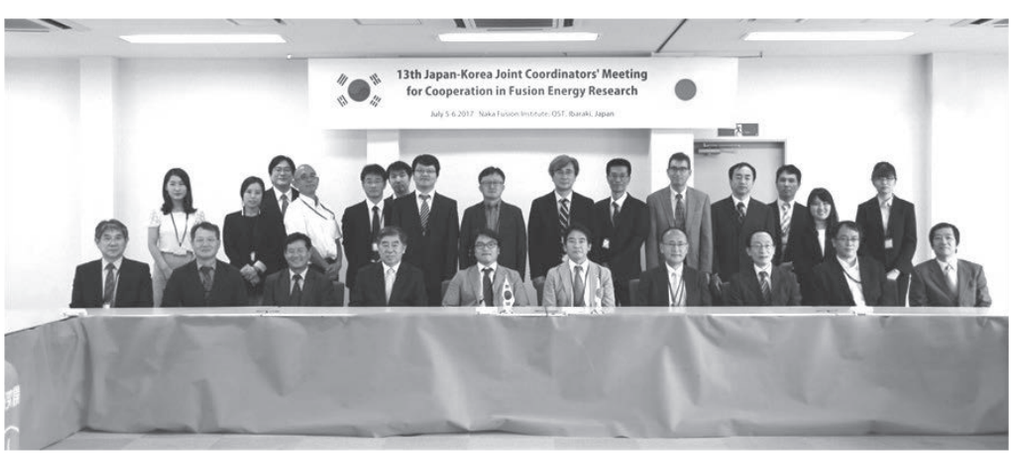


図3　JCM13出席者による記念撮影．

図4　第4回日中韓ITER国内機関技術会合の参加者.

図5　ITER説明会での解説及び実験の様子.

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.

会合では，各国政府関係者の式辞の後，最初のセッションでは各国の国内機関から機器の調達状況が報告された.いずれの国内機関も着実に調達活動を進めていることを確認した.

引き続いて,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（TBM）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.

本会合により,最近の良好事例や今後の円滑な調達を進めるための提案を取りまとめるとともに，ITER計画の成功に向けた東アジア3カ国の国内機関間の協力の重要性や，ITER機器調達に係る技術協力を引き続き推進していくことを確認した.

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機構への職員応募を促進するための広報活動を行っている.

8月10日には東芝未来科学館，8月18日には三菱みなとみらい技術館にて「イーターってなに？」と題して核融合やITERに関する解説及び実験を行った（**図5**）.今回の説明会では，太陽観察や超伝導，真空，人工ダイヤモンドに関する実験を行った.真空実験では,大気圧の存在を実証する実験や真空中と大気中の物の変化を比べる実験を行い，ITERの核融合は真空中で核融合反応を起こすことを説明した.参加された方々には,各実験を体験していただき,実験を通してITERの技術を知っていただいた.実験の最後には,小学生を中心とした参加者との質疑応答を行い,太陽に関する質問を受け,核融合や当研究所が行う研究開発を多くの方に知っていただき，併せてITER計画についてもご理解をいただいた.

今後もこのような広報活動を通して，核融合エネルギーやITERを幅広い分野の方々にアピールをして，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）

インフォメーション

ITERだより(66)

1. 製作が進む TF コイル及び構造物

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（**図 1**）．

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 TF コイル 1 号機用の WP の対地絶縁作業を完了している（ITER だより 62 号にて報告）．今回，対地絶縁後の WP を樹脂で含浸する WP の含浸作業を実施した．WP の含浸作業では，対地絶縁を施した WP を含浸容器に設置し，WP と含浸容器の隙間に樹脂を充填した後に，含浸容器内を約 150℃で 24 時間加熱して樹脂を硬化させ，TF コイル第 1 号機の WP 含浸作業を無事完了した（**図 2**）．今後，WP に冷媒を導入するための配管や計測素子を取付けて，WP の製作を完了する予定である．

一方，TFCS は，ITER のトカマク装置中心側のインボード側容器（AU）及びその蓋（AP），装置外側のアウトボード側容器（BU）及びその蓋（BP）の 4 個の部品で構成される．これらの製作においては，巻線部との一体化作業及びトカマクへの TF コイルの据付時の公差の観点から，全長が約 16.5m の TFCS に対して ± 2mm の高精度での製作が要求されている．このような高精度での製作を達成するためには，高精度の機械加工と部材間の溶接時に生じる溶接変形の抑制が重要となる．これまでに実規模での TFCS の試作を実施し，高精度での機械加工及び溶接変形を許容値以下とするために溶接条件や溶接手順等を最適化し，TFCS の製造計画を確立した．この製造計画に基づき，2014 年 4 月から実機 TF コイル用の TFCS の製作を開始し，本年 7 月に欧州向け第 1 号機の AU 及び AP の製作を完了し，BU 及び BP を製作している韓国メーカーへ発送した（**図 3**）．また，アウトボード側についても，本年 8 月に欧州向け第 1 号機用の BU 主構造体の最終の機械加工を完了した（**図 4**）．今後，最終の検査等を実施し，今年度中に欧州向け第 1 号機の TFCS 一式を欧州へ向けて発送する予定である．

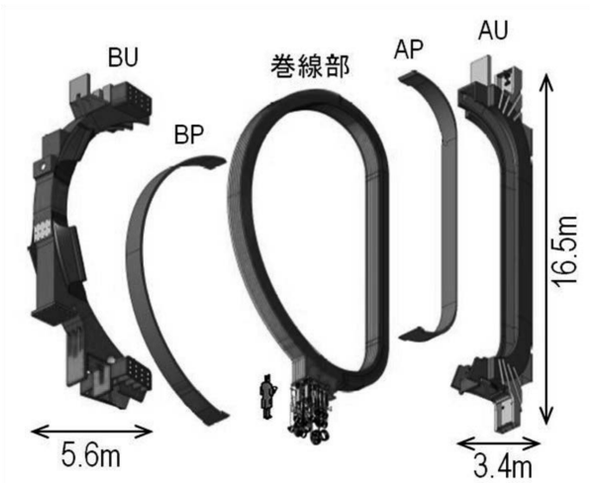


図1　TFコイルの構成.

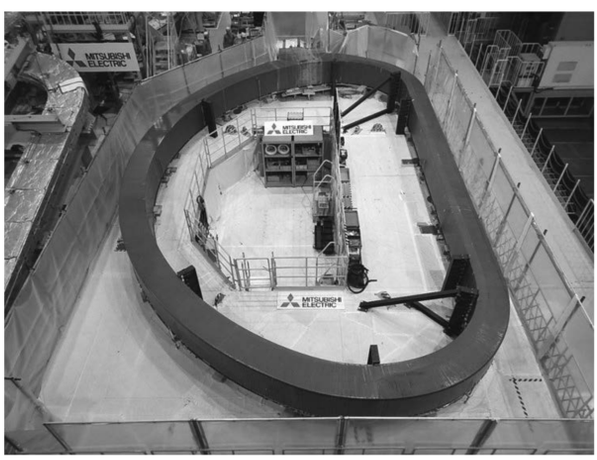


図2　含浸作業を完了したTFコイル1号機用WP.

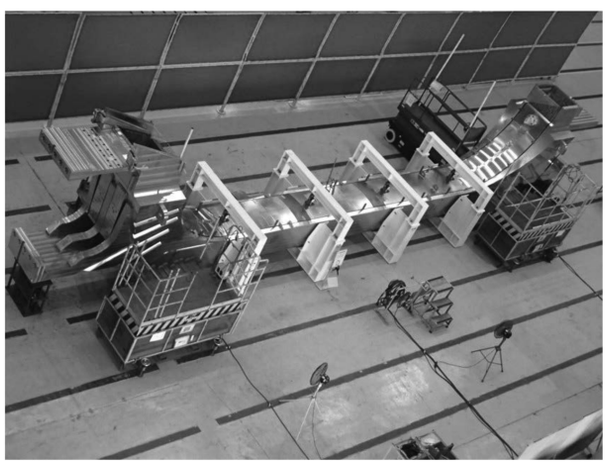


図3　製作を完成した欧州向け第1号機のAU及びAP.

図4　最終機械加工を完了した欧州向け第1号機のBU.

図5 ISFNT-13においてITER建設の進捗を講演するビゴITER機構長.

図6 核融合エネルギーシンポジウムにおいて講演するビゴITER機構長.

2. ビゴ ITER 機構長の来日

2.1 ISFNT-13 にて講演

2017年9月28日にベルナール・ビゴITER機構長が来日され,京都で開催された第13回核融合炉技術に関する国際シンポジウム(ISFNT-13)において,ITER建設の進捗について講演された(図5).

講演は,最終日のclosing sessionの直前ではあったが,200名超の聴衆を前に,ITERに参加する7極における機器製作の進捗と共に,ITERサイトにおける目ざましい建設工事の進展が紹介された.現在,製作・据付が注力されているファーストプラズマ生成に必須である機器のうち,日本の貢献として,超伝導コイル巻線,超伝導コイル構造物の製作並びにプラズマ加熱用ジャイロトロンの製作が確実に進捗していることが述べられた.

また,ビゴITER機構長は,7つの国と地域にまたがる過去に類を見ない巨大科学プロジェクトであるITER計画の成功には,特に各極が工程を厳守することが最も重要であることを強調された.これは機構長自らが,ファーストプラズマ生成までの工程を是が非でも守り抜く並々ならぬ決意表明である.

さらに,ITER計画は20年を超える長期に亘るプロジェクトであり,次世代の人材育成,産業界からも幅広く継続的な支援が不可欠であることが述べられた.このために,ITER機構はインターンシップやIPA(イータープロジェクトアソシエイツ)といった制度を設けて体制を構築していることが紹介された.最後に,ITER計画は日々確実に進展していること,ITER参加7極が垣根を越えて一体となってプロジェクトを成功させるために,機構長としてリーダーシップを発揮していくことを述べて締めくくった.

IPA(イータープロジェクトアソシエイツ):http://www.iter.org/jobs/IPA

2.2 国家ビジョン研究会 核融合エネルギーシンポジウムの開催

10月2日に国家ビジョン研究会主催,量子科学技術研究開発機構協賛による核融合エネルギーシンポジウムが,衆議院第一議員会館国際会議場多目的ホールにおいて開催された.基調講演では,ビゴITER機構長から「ITER建設の現状」と題し,ITER計画の概要やITER建設サイトの最新状況,機器調達における日本の貢献について説明された(図6).

また,第二部においては,ビゴITER機構長をはじめパネリストの方々が,会場から挙げられた質問―ITERの達成目標や原型炉に向けた活動―について解説を行った.また国際協力に視点をおき,産業界からの人的貢献や各極の技術開発協力についても議論を行った.ビゴITER機構長も国際協力の重要性について強調し,多くの日本人技術者がITERへ参画するよう呼びかけた.本シンポジウムは,多数の参加者を得て会場満席の中,活気溢れるシンポジウムとなった.

3. アルトフェルド ITER 機構 PCO 部長の来日

9月19～20日,ITER機構プロジェクト管理部(PCO)のハンス・アルトフェルド部長が,量研那珂核融合研究所を訪問された.アルトフェルド部長は昨年末にITER機構に着任し,工程管理他ITERプロジェクトの管理を所掌する要職にある.今回は韓国,中国を歴訪されたのち,着任後初めての来日であった.日本国内機関(JADA)の調達責任者,技術責任者を集めて,主要機器が各国国内機関から物納されるITER計画の特徴を考慮したプロジェクト管理のあり方,ITER機構における具体的な管理手法に関する説明があり,またJADAから,JADAにおける詳細なプロジェクト管理手法,品質管理手法,使用しているプロジェクト管理ツール,各メーカーの管理の実際などを紹介し,プロジェクト管理に関する相互理解を深めた.さらに那珂核融合研究所において,JADAが所有する超伝導コイル,ブランケット遠隔保守,ダイバータ,RF,NBI及び計測の各研究施設を訪問して調達管理の詳細を議論するとともに,JT-60SA本体の建設現場を視察した.

その後,アルトフェルド部長は(株)東芝京浜事業所を訪問して,ITERトロイダル磁場コイル及び構造物の製作現場において製作,工程・品質管理の実際を視察し,また新日鉄住金エンジニアリング(株)若松ITER工場で

図7　建設中のトカマク組立建屋内部.

図8　トカマク生体遮蔽前にて.

は，日本が全量を調達する中心ソレノイド（CS）用超伝導導体の製作最終工程を見届け，日本メーカーにおける機器製作の最前線を視察して，プロジェクト管理がしっかりと行われていることを確認した.

4. ITER 建設サイト見学

ITER 建設サイトのツアーは，事前申し込みの上，5 名以下のグループであればトカマク複合建屋の生体遮蔽の近くまで立入りが許されるとのこと. 9 月 29 日，量研の井上ITERプロジェクト部次長並びに小泉超伝導磁石開発グループリーダーは，ITER 機構トカマク技術部門の寺澤氏，三菱重工から会合のため ITER 機構を訪問していた渡邊氏，鴻上氏とともに ITER 建設現場の中心部まで視察する機会を得た.

日本育ちのITER機構広報担当マルシラさんによる日本語，英語交じりでの案内の下，ビジターセンターで建設サイト全景を見渡した後，建設現場へ. 多くの作業員が往き来する中，外壁が完成しつつあるコイル電源棟，ほぼ完成したクライオプラント建屋の前を通って組立建屋に入る(**図 7**). 組立建屋は昨年のうちに上棟，外壁工事が完了していたが，内部は内装工事もほぼ終わり，照明が煌々と灯る中，真空容器 40° セクタに熱遮蔽を施し，TF コイル 2 機を組み合わせる Sector Sub-Assembly Tool（SSAT）を据え付けるための基礎工事が着々と進められていた. SSAT 自体はすでに韓国から到着し，分解されたまま組立建屋内で保管されていた.

一旦屋外に出たのち，トカマク複合建屋の工事現場へ向かう. 5 月訪問時には地上階（L1）レベルが工事中で，工事の様子を良く見ることができなかったが，9 月には計測建屋のコンクリート外壁が L2 レベルまで伸長し，トカマク建屋中央に位置する生体遮蔽壁も L3 レベルのコンクリート打設の準備が開始されており，工事の進捗は一目瞭然である. L1 レベル北側の生体遮蔽まで足を踏み入れると，将来NBIの入射ダクトが据え付けられる巨大な貫通孔 4 個（加熱 NBI3 個＋計測 NBI1 個）が完成している. さらに生体遮蔽 L2 レベルまで上がると，上部ポートにアクセスするための矩形貫通孔からトカマクが設置されるピット内部を望むことができ，今後据え付けられるクライオスタットとITER本体の大きさに思いを馳せた(**図 8**).

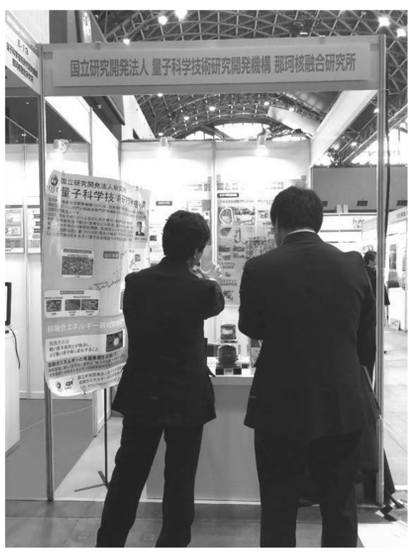


図9　モノづくりフェア2017における ITER 展示ブース.

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.

10 月 18 日～20 日にマリンメッセ福岡にて開催されたモノづくりフェア 2017 に出展し，核融合エネルギーの現状や ITER 計画の進捗について説明を行った（**図 9**）. 会期中は約 13,000 人が来場し，多くの方に ITER 計画のパンフレットやペーパークラフトを配布し，核融合に対する理解を深めていただけた. ブースに足を運んでいただいた方からは，ITER の建設状況や日本の調達機器，量研が行う研究開発について多くの質問を受け，核融合エネルギーを多くの方に知っていただくことができた.

今後もこのような広報活動を通して，核融合エネルギーや ITER を幅広い分野での方々にアピールをして，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）

インフォメーション

ITERだより(67)

1. 第 21 回 ITER 理事会開催：第 21 回 ITER 理事会は着実で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 参加極による支援：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．

図 1　第 21 回 ITER 理事会出席者（ITER 機構提供）．

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^2，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）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 本の超伝導導体が使用される．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_3Sn 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撚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，撚線の撚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，撚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）

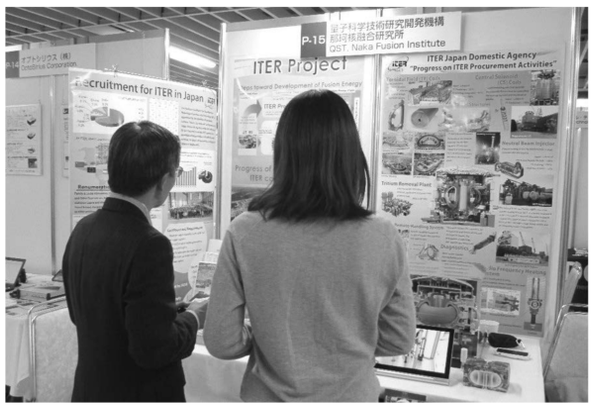


図5 Plasma Conference2017における展示ブースの様子.

インフォメーション

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．

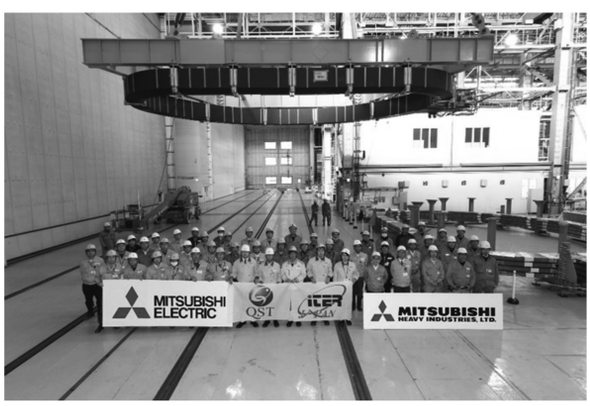


図 1　製作を完了した TF コイル第 1 号機用の WP.

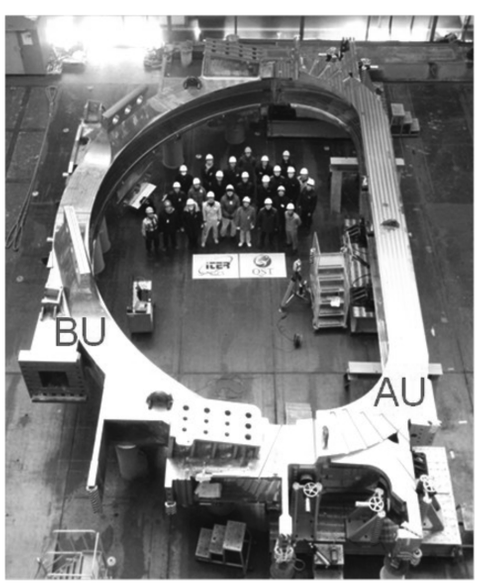


図 2　組合せ試験に合格した TFCS 第 1 号機用の AU 及び BU.

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^2 の定常熱流束分布と 0.02 － 0.5 GW/m^2 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を 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 機構ウエブサイト 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.

インフォメーション

ITERだより(69)

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状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．

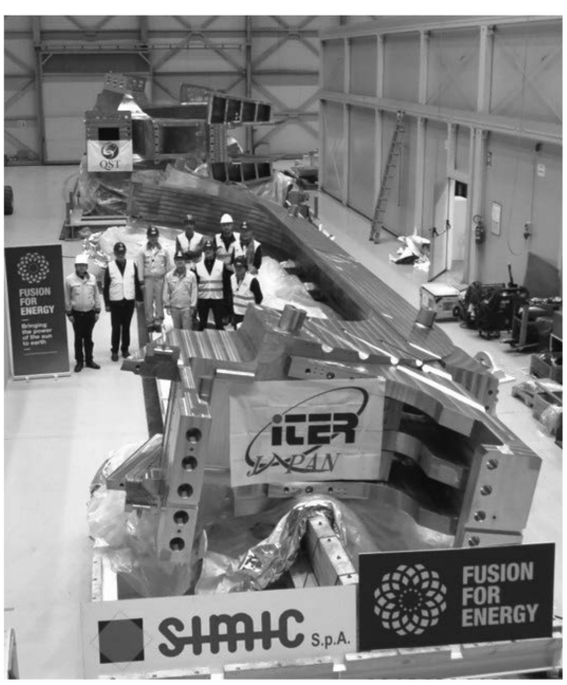


図1　イタリアの一体化工場への搬入を完了した欧州向けTFコイル構造物第1号機（手前はAU, 奥はBU）．

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，機器調達の佳境を迎えている．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，昨年から 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．

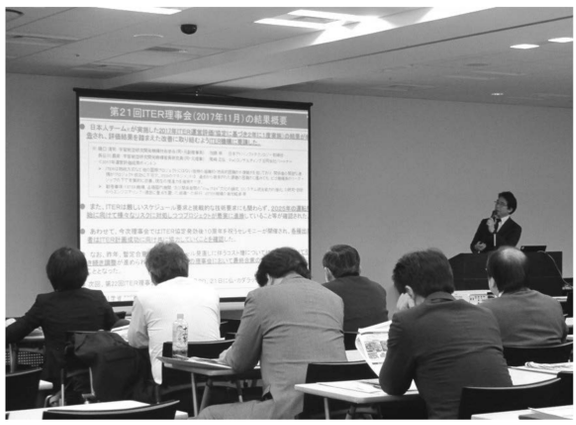


図 3 第 24 回 ITER 企業説明会にて講演する松浦 文部科学省研究開発戦略官．

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%の調達取り決めを締結し，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）

（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）」”．

インフォメーション

ITERだより(70)

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と，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，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．

図1　第22回ITER理事会出席者（ITER機構提供）．

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チームーITER機構と7つの国内機関ー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歩）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.

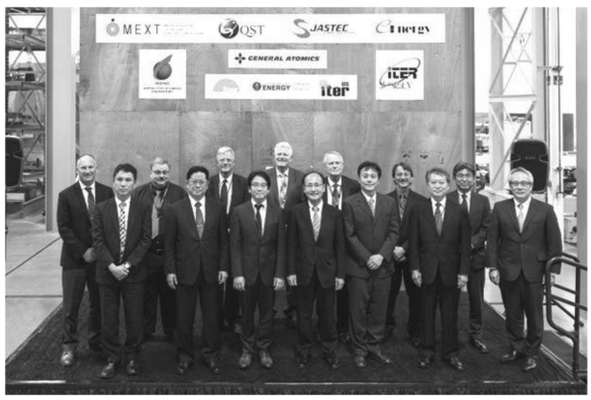


図 4 米国で開催した CS 導体の輸送完了に係る式典.

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_3Sn 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_3Sn 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）

インフォメーション

ITERだより(71)

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．各部品の長さは最大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う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．

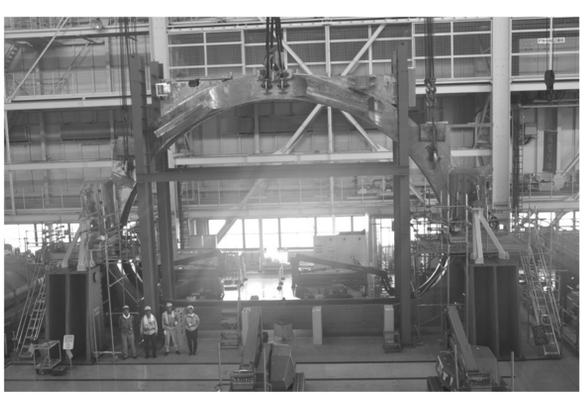


図1　AU-BU仮組後の日本向けTFコイル第1号機用構造物．

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．引き続いて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・リアリティー (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．

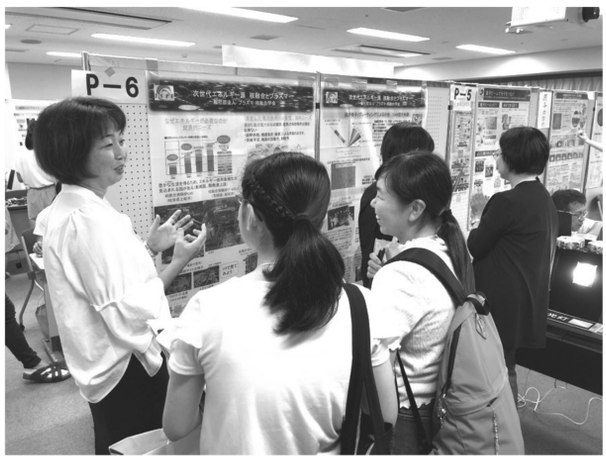


図 5　女子中高生夏の学校 2018 における展示ブース．

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・リアリティー（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
（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）

インフォメーション

ITERだより(72)

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 ジャイロトロンを 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ロン開発に鎬を削ってきた．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 ジャイトロン実機（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**）．本ジャイロトロンについては，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 ジャイロトロ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 機構のジャイロトロン技術担当者の立会いの下でジャイロトロン 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　ジャイロトロン実機： 8 機中，2 機分の製作を完了．

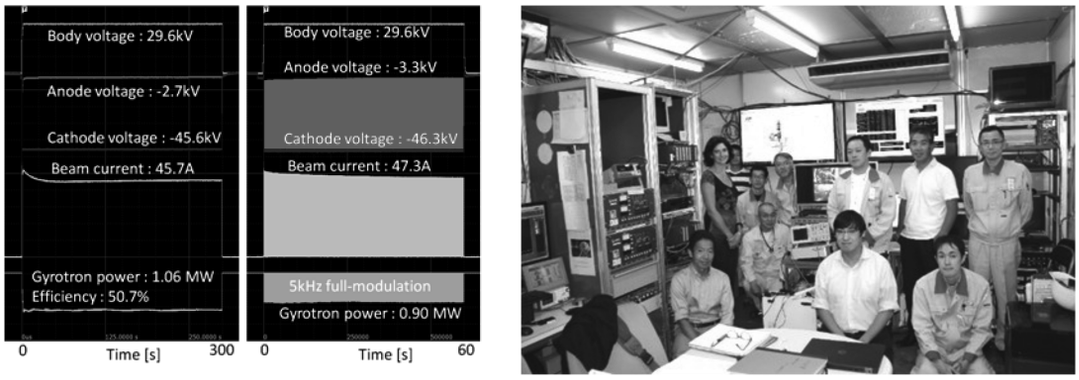


図 3 （左）1 MW 出力/300 秒波形，（中）5 kHz 出力変調/60 秒波形，（右）FAT 実施時の制御室内風景.

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. こと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 機構のカトリーナさんの解説の下, 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, 博士課程在学時に 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-ITER IMPGYRO 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-ITER IMPGYRO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め，IOのイントラネットで気に入った物件を見つけ，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．

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．

既に帰国してからおよそ3年が経ったが，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)

インフォメーション

ITERだより(73)

1. 第23回ITER理事会開催：ITER理事会は，プロジェクトの継続的な進展を評価し，ITERは機器組立への移行を準備した．

2018年11月14日，15日に開催された第23回理事会（**図1**）では，ITER機構からの最新の報告と技術的，組織的な実績を示す指標を評価した．ここ3年間，ITER計画は勢いのある速度と堅実な実績を維持してきた．ITER機構及び国内機関は，プロジェクトに要求されるスケジュールや世界初となる装置に必要とされる革新的な技術を満たすために，「One-ITER」チームとして協働している．理事会は，トカマク建屋の完了と装置組立段階への移行を視野に入れつつ，ITER計画の成功に向けて順調に事業を進めていくことに全力を注いでいる．

ITER理事会は，以下について議論した．

- 建設と製作の進捗：2016年1月以降，理事会で承認された36の予定されたプロジェクトマイルストーンが達成されている．トカマクコンクリート台座の土木作業が，スケジュール通り2018年8月に欧州国内機関によって完了した．また，米国が供給する3つのドレインタンク及び中国が供給する4つの蒸気抑制タンクは，同月に据え付けられた．韓国が供給する最初の真空容器セクターは，80%以上完了している．ロシアは，ITERの磁気システムのためのポロイダル磁場コイル導体を製作し終えた．インドは，クライオスタット円筒の下部と基部の製作をほぼ完了した．トロイダル磁場コイルの巻線の製作や，精密に加工された構造物への巻線の取付及び冷却テストは，欧州と日本において順調に進展している．実際，全ての主要なITERの機器，システム及び構造にかなりの進展が見られる．
- 機器組立に向けた準備：理事会は，今後の組立段階への移行に向けた準備のためにITER機構が取り組んでいる方策に慎重に留意した．主要な機器はITERサイトに到着しつつあり，その頻度は上がっている．据付は来年も続き，2020年の初めに本格的な組立作業が開始予定である．理事会は，2019年中頃にITER機構の組立・据付戦略に関する深堀独立レビューを実施することを承認した．
- 設計の最適化：理事会は慎重な検討の結果，安全要求に応えつつ装置のベースライン構成を調整する提案を承認した．それは，プロジェクトの要求に沿って，真空容器の2つの水平ポートをトリチウム増殖システムに割り当てること，及びディスラプション緩和システムを開発することである．

理事会は，建設戦略の改良及び2016年ベースラインの成功裏の実施を可能にし，2025年初プラズマを達成するために，物納及び現金貢献を果たす全参加極の努力を好意的に留意した．理事会は，全てのITER参加極が毎年の物納貢献と現金貢献を，時宜を得て果たすことが，建設戦略の改良と2016年ベースラインを成功裏に実施するために重要であることを再確認した．

理事会メンバーは，核融合科学技術を発展させるITER計画の使命とビジョン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．理事会は，「One-ITER」チーム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継続していく．

2. EU向けTFコイル構造物第3号機の出荷が完了

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）の製作を進めており，TFCSは，ITERのトカマク装置中

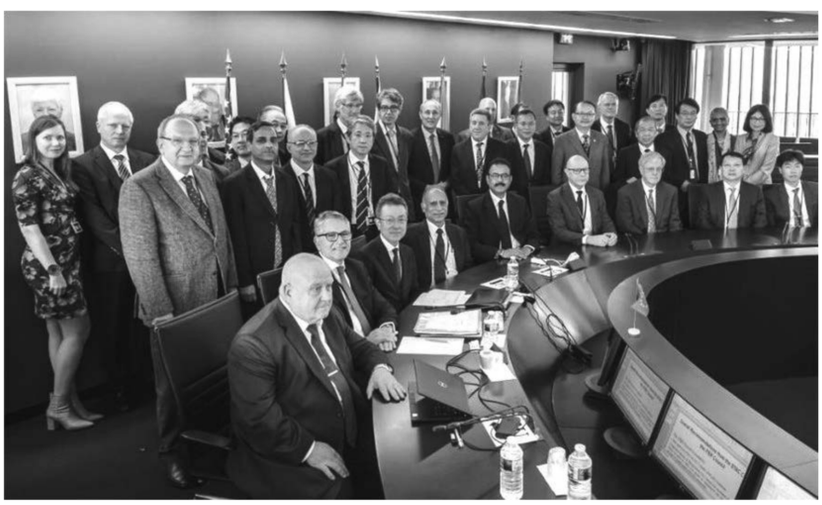


図1　第23回ITER理事会出席者（ITER機構提供）．

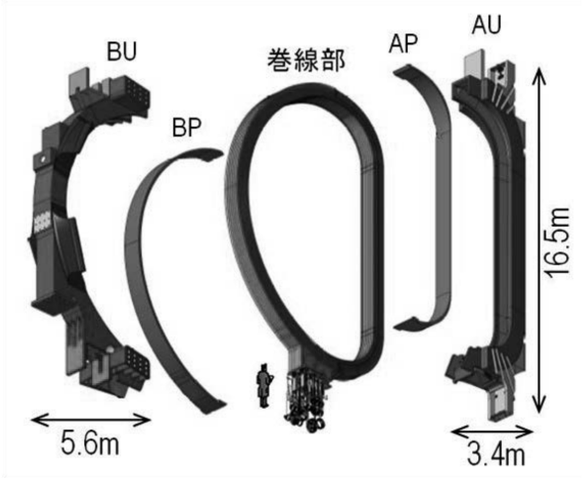


図 2　TF コイルの構成.

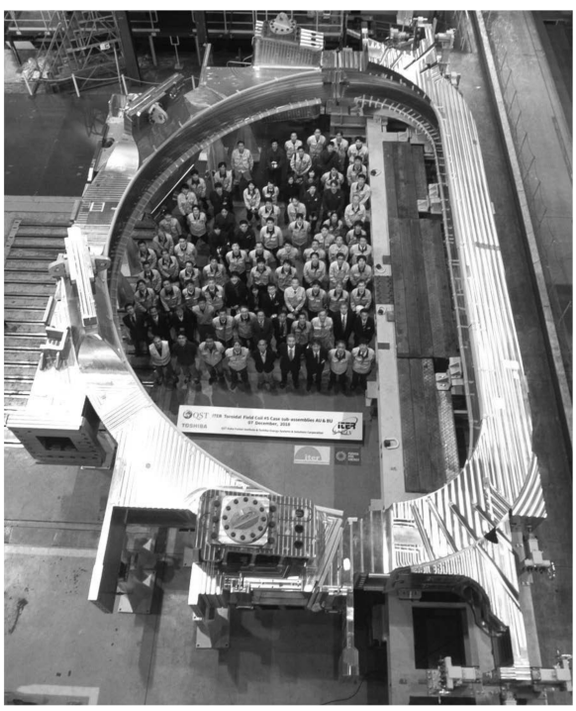


図 3　製作を完了した欧州国内機関向け構造物第 3 号機.

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（**図 2**）.

TFCS は，全長約 16.5 m，幅約 9 m，総重量約 200 トンにも及ぶステンレス製の大型構造物であるにも拘らず，一体化作業時に向けた 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必要がある．また，溶接部の最大板厚が約 280 mm の厚肉溶接構造体でもある TFCS 製作において，要求精度を満たすための最大の課題は，溶接変形の制御と高精度な機械加工技術である．このため，数多くの R&D を経て，溶接変形を制御するための治具の開発及び溶接変形の量を監視しながら溶接変形を最小限に抑える溶接技術を確立するとともに，機械加工においては，機械加工中の製品の温度に追従した温度補正値を機械加工プログラムに反映するシステムを構築することにより，ITER 要求の製作精度を満足する高精度な TFCS の製作に成功した.

今回，製作を完了した TFCS は，欧州国内機関向け第 3 号機であり，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．さらに，東芝エネルギーシステムズでは，AU と BU を高精度に位置合わせさせることを可能とする仮組試験装置を開発し，本装置を用いて AU と BU の最終仮組試験を実施した．その結果，2 社で製作された大型構造物であるにも拘らず，0.75 mm 以下の精度で組み合わせることに成功し，日本の製作技術の高さを証明した（**図 3**）．その後，全ての部品を梱包し，欧州国内機関が巻線部との一体化作業を実施するイタリアの一体化工場に向けて，2018 年 12 月中旬に横浜の製作工場から出荷した.

3. ITER 機構インターンシップ体験記：「夢の道 “ITER”での出会い」by 小島信一郎（九州大学総合理工学府）

私にとっての夢の舞台 ITER にて 9 月 3 日から 11 月 27 日までの期間，インターンシップを行った．テーマは “GENRAY adaptation to IMAS” で EC ray-tracing コード GENRAY を ITER 統合コード IMAS に組込む作業を行った．私が所属した ITER 内の Science 部門は，ITER の実験シナリオについて検討を行っており，私は EC 加熱を行った際の吸収効率の検討するため，IMAS からデータを読み込み，GENRAY を使って計算し，IMAS に結果を渡すという一連の流れを作成した．このインターンシップを通して私には幸運にも 3 つの出会いがあった．1 つは「仲間」，2 つ目は「優しさ」，3 つ目は「熱意」．「仲間」との出会い，お昼の時間，Science 部門は 10 名ほどのメンバーで食事をする．最初の頃は，食事中の英語での雑談が私のリスニング力，スピーキング力の無さから苦痛で仕方なかった．それでも，3 ヶ月間も経てば，お昼の時間に情報交換をしたり，遊びに行く約束ができるようになり，職場以外でも交流する機会も生まれた．国も文化も違う仲間同士が共に楽しい時間を共有するということの面白さに気づかされた．ただ職場で顔を合わせるだけでなく，一緒に楽しむということを前提に人間関係を築いていた．短い時間であったが，そうした仲間の一員になることができて幸せだった．「優しさ」との出会い，職場の仲間，ITER で働いている日本人（**図 4**），プロバンスに住む日本人，アパートのオーナー，住んでいた町の人々から，想像もしていなかった優しさをいただいた．「熱意」との出会い，ITER では誰もが ITER 計画を実現するには，ということを真剣に考えていた．何とかして ITER を作り上げる，ITER で実験する．その為に何が問題で，何が必要かという議論を，短い期間であったがよく耳にした．それぞれの立場で，それぞれに困難を抱え，それぞれ真剣に向き合って ITER 計画実現を目指している姿に熱意を感じ，私もいつか ITER で同じような熱意を持って働きたい

図 4　アルプスハイキング（オルネイユ湖）にて ITER で働く日本人の方々と一緒（最右：小島）.

と思った. 3 ヶ月という短い期間で吸収できること，経験できることは限られていたが, 私の中で大きな貴重な経験であった. この経験と出会いに感謝したい.

4. 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 11 月～ 12 月には, 山形市で開催された 2018 年度秋季（第 97 回）低温工学・超電導学会及び大阪府吹田市で開催されたプラズマ・核融合学会第 35 回年会において，それぞれブースを出展した（**図 5, 6**）.

低温工学・超電導学会では，展示会開始前に学会参加者に向けて 1 分間のプレゼンテーションを行う場が設けられ，量研はバーチャル・リアリティー（VR）システムによる ITER 建設サイトの紹介や ITER 機構職員・インターン生募集について宣伝した. 展示会では，プレゼンの効果もあり，VR を目当てにブースを訪れていただく方が多かった. 今回, 両ブースでご覧いただいた VR は, 2018 年 8 月時点のサイトの様子であり，ITER 本体を設置する場所であるトカマクピットの内部の様子も公開された. コンクリートの遮蔽壁で囲まれたピット内部からも ITER の大きさを体感していただくとともに，着々と建設が進んでいることを実感していただけた. また, 新たに作成した ITER 機構職員・インターン募集等のちらしを配布したことにより, 多くの学生や大学の先生方にはインターンシップ制度に興味を持っていただけた様子だった.

図 5　2018 年度秋季（第 97 回）低温工学・超電導学会における展示ブース.

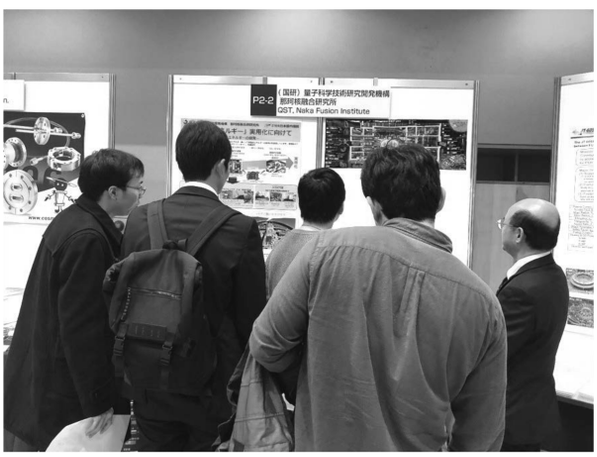


図 6　プラズマ・核融合学会 第 35 回年会における展示ブース.

今後も様々な広報物を取り入れて，多くの方に ITER の進捗を注目していただけるよう邁進する.

（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）

インフォメーション

ITERだより(74)

1. ITER/BA 成果報告会 2018

ITER/BA成果報告会2018が,核融合エネルギーフォーラムの主催，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の共催によって,有楽町朝日ホールにおいて,2018（平成30）年12月14日に開催された.そこでは,「人類の明日をのぞむ,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，技術報告，関連機器やパネルの展示などを通じ，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，永岡桂子文部科学副大臣，森英介自民党核融合エネルギー推進議員連盟会長,佐々木郁夫青森県副知事，宇野善昌茨城県副知事，宮永俊一経済団体連合会副会長によって，来賓挨拶が述べられた.

基調報告では，ベルナール・ビゴITER機構長による「ITERの建設状況」，新井知彦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」,栗原研一量研那珂核融合研究所長による「ITERの機器製作活動及びJT-60SA建設の進展」，池田佳隆量研六ヶ所核融合研究所長による「核融合フロンティア IFERC 及びIFMIF-EVEDA活動の進展」の報告が行われた.「ITER計画の建設状況」は,フランスのITER機構からビゴ機構長及び多田副機構長がライブ中継で報告を行った（**図1**）.また，「ITERの機器製作活動及びJT-60SA建設の進展」では量研那珂核融合研究所のJT-60本体室からJT-60SAの建設状況が,「核融合フロンティア IFERC及びIFMIF-EVEDA 活動の進展」では量研六ヶ所核融合研究所のIFMIF原型加速器の実験棟からIFMIF原型加速器の建設状況が，ライブ中継で紹介された.

技術報告では,「ITER及びJT-60SA計画の開始から10年を経て，技術開発の進展秘話と未来展望を語ろう」を主題として,ITER計画とBA活動のキーテクノロジーを担う国内企業（6社）により報告が行われ，技術力の高さが示された.また,「学術基盤や技術基盤への広がり」として，柴田徳思千代田テクノル大洗研究所長により，核融合炉の材料試験のために検討されている加速器高速中性子源に関連して,加速器中性子源の産業応用について紹介があった.最後に,香山晃核融合エネルギーフォーラム運営会議委員幹事より，閉会の挨拶が述べられた.また,ITER計画とBA活動に関連する技術開発や機器製作を進めている国内企業，自治体，大学，研究機関（24団体，23ブース）により，パネル・機器展示が行われた.

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，一般から約480名の参加があり，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.

2. EU向けTFコイル構造物第3号機のイタリア到着

前号（73）で出荷の完了を報告した欧州向けのトロイダル磁場コイル構造物（TFCS）第3号機は，インド洋,スエズ運河,地中海を経て,2月24日夕刻にベネチア本島の対岸にあるマルゲラ港に入港し,翌25日に荷下ろしを行った（**図2**）.当日は快晴で波のうねりも殆どなく,荷役には絶好の日和であったが,船上クレーンの油圧トラブルにより想定外の時間がかかり,結果として全ての作業が完了したのは,陽もとっぷりと暮れてからであった.

その後，通関手続き，陸送許可を申請し，イタリア当局の許可が得られた後，陸送を開始した.陸送では，荷の重量及び大きさによって一般道を通行できる時間が細かく制限されており,現地時間の夕方に最後の構造物の輸送を完了した.なお，輸送したTFCSは重量物（最大約160トン）であると共に円弧形状であるため，重心管理に最新の注意を払い,輸送物の状態を常に監視しなが

図1 ITER/BA成果報告会2018において，ビゴ機構長及び多田副機構長がフランスのITER機構からライブ中継で「ITER計画の建設状況」に関して報告している場面.

図2 本輸送で最重量物となる外側構造物BUの荷役.

ら約 10 km/h の速度で陸送を行った．

工場搬入後に車上にて欧州極内機関と ITER 機構による受入検査（加速度計の反応，圧力計指示値の確認，外観検査）が実施され，これに合格し欧州極内機関への引き渡しを完了した．なお本輸送は日本国内機関からの輸送の 3 回目に当たり，前 2 回の経験が生かされ，スムーズに輸送を完了する事ができた．

3. ITER ジャイロトロン用補機装置を輸送開始

ITER 電子サイクロトロン加熱・電流駆動（ECH/CD）装置は，1 機あたり 1 MW 出力の 170 GHz マイクロ波を発生させるジャイロトロンシステム 24 機と同系統数のマイクロ波伝送系，そのマイクロ波出力をプラズマへ入射するランチャー（アンテナ）から構成され，合計 20 MW の 170 GHz マイクロ波を入射する．ITER ECH/CD 装置は，2025 年のファーストプラズマ達成に不可欠な機器であり，日本のイーター国内機関である量研は，日本が分担する 8 機のジャイロトロンシステムの調達を進めている．ジャイロトロンシステムは，ジャイロトロン本体と補機装置，マイクロ波を発生させるために不可欠な強磁場を作り出す超電導コイル，発生したマイクロ波ビームを伝送系に高効率で結合させるための整合器などから構成される．ジャイロトロン補機装置として，

- ジャイロトロンや超電導コイル，整合器などを据え付けるための架台（**図 3**）
- 電子銃用オイルタンク
- ジャイロトロン機器ための冷却水マニホールド
- 各種配管やボルトなどの付属品

があるが，これらは 2015 年の最終設計レビュー完遂後より製作や調達を開始し，2018 年末までに全て設計通りの機器製作と調達が完了した．この補機装置について，日本が調達するジャイロトロンシステムの ITER 機構へ向けた初めて輸送として，1 月 17 日～ 24 日にかけて，量研や製作工場で保管されていた補機装置を横浜港までの陸送を行い，その後の梱包作業や通関手続きなどを経て，

図 3　ジャイロトロン架台及び関連部品．

図 4　梱包後，コンテナヤードへ向けて輸送．

図 5　新春 PM セミナー 2019（ITER 関連講演）の様子．

予定通り 2 月 11 日に横浜港を出航した（**図 4**）．フランスへは 3 月 23 日に到着する予定である．

4. 新春 PM セミナー 2019（2/6 ：特非 日本プロジェクトマネジメント協会主催）での ITER 関連の講演

2019 年 2 月 6 日，日本プロジェクトマネジメント協会主催の新春 PM セミナー 2019 －多彩な未来を切り拓く－ が品川区きゅりあんにて開催された（**図 5**）．

本セミナーでは，「地上に作る小さな太陽」-実験炉イーターの建設プロジェクト-と題して，杉本 ITER プロジェクト部長が ITER 計画の講演を行った．本セミナーの参加者は約 600 名．普段，核融合研究開発に馴染みのない業種（IT 系，エンジニアリング系）のプロジェクトマネジャー，経営者，上級管理者の方々に ITER の話を聞いていただいた．核融合の原理からはじめ，ITER の現状を伝えた．引き続き，ITER の進展を多くの方々に知っていただくよう努める．

（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）

インフォメーション

ITERだより(75)

1. TF コイル 1 号機の一体化

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おり，日本分の TF コイルについては 110 トンの巻線部(WP)1 基と全長約 16.5 m，幅約 9 m のコイル容器 2 基の調達が完了している．WP をコイル容器内に収め，隙間を樹脂で含浸することで WP とコイル容器が一体化され，TF コイルとなる．

TF コイル 18 機のうち，残りの 9 機は欧州機関が調達することになっており，一体化作業時のコイルの姿勢やツールの違いから，完成した TF コイルが日本と欧州の 2 極間で異なった性質を持つことを ITER 機構は懸念していた．2 極間の一体化方針の相互理解を深めることを目的として，2 月にリー副機構長及び欧州機関の TF コイル調達責任者が 1 号機を製作している三菱重工業（株）の二見工場を訪れた際には，WP は完成検査を終えて真空容器から吊り出された状態であり，コイル容器直線部は一体化組立エリアに設置済みであった．見学の際には実物を見ながら，一体化作業内容について説明し，ITER 機構の要求を満たす作業設計がなされていることを確認いただいた．

3 月初めには，長さ 16.5 m のコイル容器直線部に対し，110 トンの WP を 0.3 mm の精度で目標位置に設置することに成功し，その 2 週間後には 130 トンにも及ぶステンレス製のコイル容器曲線部を WP に干渉することなく被せ，コイル容器直線部との溶接ルートを 16.5 m の全長に対し，1 mm の精度で合わせることに成功した．これらの高精度な組立作業は最新のレーザートラッカーを駆使することで可能となった．

コイル容器直線部と曲線部間の溶接は，その形状が非対称であるために，溶接による変形が懸念されていたが，ここでもレーザートラッカーを活用し，溶接変形の挙動を監視しながら溶接手順を臨機応変に調整することで，9 m のコイル幅に対し，変形をわずか 1.5 mm 程度に収めた．

1 号機の一体化作業はコイル容器の製作を担当した三菱重工業（株）と WP の製作を担当した三菱電機（株）の協力体制のもとに進められており，これまでの作業の成功は両社の生産技術の高さを証明している．今後はコイル容器の内面カバー板の組み込みや隙間の含浸などの作業を進め，同時に量産を始める予定である（**図 1**）．

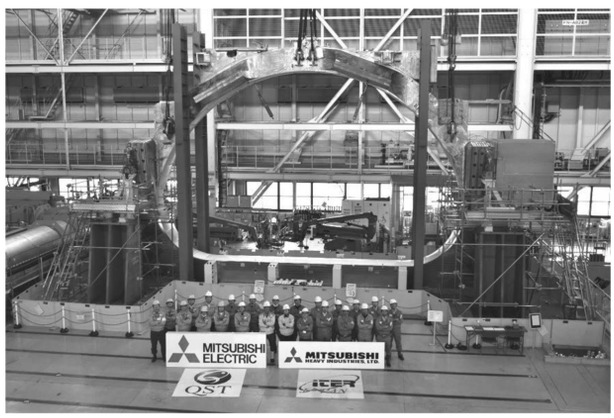


図 1　AU-BU 合わせ完了後の TF コイル 1 号機．

2. ITER 計画及び ITER 機構職員募集説明会の実施

量研は ITER 日本国内機関として，核融合エネルギーと ITER 計画への理解，ITER 機構への職員応募を促進するための広報活動を行っている．

3 月 3 日，東芝未来科学館（川崎市）にて，“「イーター」ってなに? 核融合最前線 地上に作るミニ太陽”と題し，核融合や ITER に関する解説及び実験を行った．

はじめの核融合や ITER に関する解説では，説明をより効果的にするため，プレゼンテーション専用のロボット「プレゼン Sota（ソータ）」（**図 2** 左）を用いて行い，参加者の注目を集めた．実験は，ITER に興味・関心をもっていただけるよう，ITER に関連する技術である，超伝導，真空を利用したものを用意し，体験していただいた（**図 2** 右）．参加者には解説や実験を通して，核融合や ITER 計画に興味を持っていただくことができ，最後の質疑応

図 2　ITER 説明会でのプレゼン Sota（ソータ）の解説及び液体窒素を使ったボール割り実験の様子．

答では沢山の質問をいただいた.

今後もこのような広報活動を通して，核融合エネルギー, ITERを幅広い分野の方々に知っていただき, また理解を深めていただけるよう活動を続けていく.

3. 第25回ITER企業説明会の開催

3月8日, 25団体から38名の参加者を迎えて, 東京八重洲において第25回ITER企業説明会を開催した. 今回はまず，文部科学省新井研究開発戦略官より，核融合研究開発の政策及び進捗状況，ITER計画，ITER建設サイトの進捗状況，今後の原型炉研究開発，核融合の人材育成などを説明いただいた（**図3**）. 核融合研究開発については，21世紀中葉に実用化の目途を得ることを目指し，段階的に進められており，現在は燃焼プラズマの達成・長時間燃焼の実現及び核融合炉工学の基礎を形成している段階であると説明された.

また，量研杉本ITERプロジェクト部長は，ITER計画における日本分担機器の調達状況, ITER国内機関としての組織構成及び活動内容について説明した. さらに, ITERテスト・ブランケット・モジュール（TBM）の調達とその安全実証試験, ITERトリチウム除去系の調達とその性能確証，ITER計測装置の調達，ITER機構への邦人派遣についてなど, 様々な分野で量研の各発表者が説明した. 講演後には参加された企業の方から多くの質問があり，活発な意見交換が行われた.

今後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」をご覧ください.（http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/jada/page2_7.html）

4. ITERビジネスフォーラム（IBF2019）の開催

3月26日～28日にフランスのジュアンレパンにて2019年ITERビジネスフォーラム（IBF2019）が開催された. 2007年から始まり今回で第7回目のITERビジネスフォーラムはITERプロジェクトを通じた関係各国（日本, EU, 中国，韓国，米国，インド，ロシア）の産業界と核融合研究との共通理解とパートナーシップを強化促進し, 産業界を対象にITER計画の最新状況, 調達手順, 今後予定される製作機器の情報開示を目的として開催されており, 本年は433社, 1,005名を集めてアンティーブ国際会議場で開催された. 各国内機関やITER機構からの基調講演を含む約100件の講演, 企業, 各国内機関及びITER機構の約50件のブース展示, そして多数の個別ビジネス会合が行われた. ITER日本国内機関である量研からも杉本日本国内機関長が日本の機器調達の進捗状況を発表した（**図4**）. また，ブース展示を行い，ポスター掲示や

図3 第25回ITER企業説明会にて講演された新井文部科学省研究開発戦略官.

図4 ITERビジネスフォーラム（IBF2019）の様子.

図5 IBF2019日本国内機関展示ブースの様子.

写真集，マンガ，エコバックの配布により量研が担当する機器・活動の紹介をし，特に製作フェーズにあるトロイダル磁場(TF)コイルや中性粒子入射加熱装置(NBI)，ジャイロトロンの製作状況等と製作計画，さらに今後の現地作業計画等の説明を行った（**図5**左）．一般向けにITER計画をわかりやすく解説する目的でマンガ(Vol.1, 2）を作成し，この英語版と仏語版を配布した．こちらは特に多くの来訪者から好評を得ており，第3弾を期待する声も多く寄せられた（**図5**右）．

5. ITER機構インターンシップ体験談：永田亜実

ITER機構インターンシップに参加したのは，エクスマルセイユ大学，南山大学を卒業し，2018年の春から夏にかけての4ヶ月，パリ政治学院に入学する準備期間であった．その前の2年間，ITER建設サイトの近くの町，エクサンプロヴァンスの大学に通っており，ITERに関して耳にしたことがあった．あるきっかけで，実際にITERで働いている方々と山登りに行き，言葉を交わしている間に，未来のエネルギーにかける情熱が伝わってきた．大規模なチャレンジをサポートしたいと思い，ITERでのインターンシップに応募した．

テクニカル専門でなかったため，人事部とコミュニケーション部に4ヶ月間配属された．人事部では，書類作成や，若者採用プログラムのベンチマーク市場調査を行なった．コミュニケーション部では，あらゆるミッションをこなした．例えば，世界各国のSNS使用の分析，日本人職員増加のための戦略，ITER職員のためのウェブコンテンツ改良（記事やイベント宣伝記事作成など）など．

日々の仕事はとても興味深く，私が役に立つためには何ができるか，と考えることから始まり，何度も部長とのミーティングをした．「自分が全力で取りかかれるミッション，亜実が興味のあることを進んでしなさい．」この部長の言葉に背中を押され，委託されたミッションだけでなく，自ら「やりたい」と思ったことを提案し，実行した．その中の一つが，インターン生紹介ビデオである．あらゆる企業のビデオを参照し，またインターン生とのインタビューを通して，自分でスクリプト，場面設定を考え，同僚のカメラマンに撮影をお願いした．そして，BGM選択や，撮影したテープの編集など，全て同僚と二人で行なった．完成後，人事部との合同ミーティング時にビデオを披露したところ，温かい言葉，高い評価をいただき，自分が役に立てたことに喜びを覚えた．たとえインターン生であっても，私の提案を承諾し，サポートしてもらえる環境が，私の成長に繋がった．

また，職場での人との出会いは，私にとってかけがえのない経験になった．もともと明るく，社交的な性格であり，またインターナショナルな環境で育ったため，もっと職場での交流を増やしたいと思い，内部イベントを度々計画した．インターン生同士のランチや，国際交流，

図6　インターン生との就業日最後のランチ．

図7　日本の職員の方々のお別れ会．

またダイバーシティ理解のためのイベントなどを通し，ネットワークが広がった（**図6, 7**）．特に，インターン生の輪は，家族のような存在であった．ランチを共にするだけでなく，土日にプロヴァンス探索に出かけたり，仕事終わりに遊びに出かけたりなど，私生活も，とても充実した．ラベンダー畑を見に出かけ，渓谷，湖でのキャンプなど，自然が豊富なため土日にリフレッシュに出かけられるのは，南フランスの魅力である．また，文化や習慣の違う国の人々と時間を共に過ごすことにより，自分の環境順応能力も向上した．

ITERで培った知識，スキル，そしてネットワークは，私の人生の宝物．この経験を生かし，今後は国際的な舞台で活躍できるように精進したい．

（インターン生紹介ビデオ：
https://youtu.be/M4As3d7JAOI ）

（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）

インフォメーション

ITERだより（76）

1. 第24回ITER理事会開催

2019年6月19日，20日にフランス，サン・ポール・レ・デュランス市において開催された第24回ITER理事会（**図1**）は，プロジェクトの最新の進捗報告と実績指標を評価した．ITER計画は，勢いのある速度と堅実な実績を維持し続けている．ITER機構及び国内機関は，プロジェクトに要求されるスケジュールや革新的な技術要求を満たすために，「One-ITER」チームとして協働している．

ITER理事会は，以下について議論した．

・組織のリーダーシップ：1月の理事会決定に基づき，ベルナール・ビゴ機構長はアルン・スリヴァスタヴァ理事会議長との間で2期目となる2020年3月5日からの5年間の契約に署名した．

・建設と制作の進捗：2016年1月以降，理事会で承認された41の予定されたプロジェクトマイルストーンが達成されている．欧州は初プラズマに必要な建屋と現地土木作業の70%以上を完了した．中国が供給したコイル接続機器が，最初の装置機器として生体遮蔽内に据付けられた．米国が供給した電力設備が最初に試運転を終えて使用可能となった．組立室では韓国が供給した800トンの2つの真空容器組立治具が据付けられた．欧州は磁石電力変換建屋をITER機構に引き渡し，中国，インド，韓国，ロシアからの電気機器の据付が進行中である．今後数ヶ月内に，インドはクライオスタット基部と下側円筒部を完成し，欧州と中国は最初のポロイダル磁場コイルを完成して輸送を行い，日本による最初のトロイダル磁場コイルが現地に到着する．

・機器組立フェーズに向けた準備：理事会は，2020年春に開始される装置組立の開始に適したITER機構の組織改革を承認し，移行準備の方法について留意した．ITER機構の組立据付戦略に対する深堀独立レビューが来月から開始される．

・中性粒子入射装置試験施設（NBTF）：欧州，日本，インド及びITER機構が共同で実施するNBTFは，イタリアが大きな財政貢献をコミットし，ITERの最も強力なプラズマ加熱システムの物理と技術を実機規模で製作，実証するものである．理事会は，ITER機構とRFXコンソーシアム（イタリア）間のNBTFに関する2030年5月までの協定案を承認した．

・ITER参加極のサポート：理事会は，建設戦略の改良の成功裏の実施を可能にし，2025年の初プラズマを達成するために，物納及び現金貢献を果たす全参加極の努力を好意的に留意した．理事会は，全てのITER参加極が毎年の物納貢献と現金貢献を，時宜を得て果たすことが，建設戦略を成功裏に実施するために重要であることを再確認した．

理事会メンバーは，核融合科学技術を発展させるITER計画の使命とビジョン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時宜を得た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，「One-ITER」チーム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継続していく．

図1　第24回ITER理事会出席者（ITER機構提供）．

2. 第25回ITER科学技術諮問委員会が開催

第25回ITER科学技術諮問委員会（STAC-25）が5月14～16日の3日間，チャールズ・グリーンフィールド議長（米・General Atomics）のもとITER参加7極から30名の委員及び専門家を集めてITER機構本部において開催された（**図2**）．日本からは山田弘司委員（核科研），鎌田裕委員（量研），寺井隆幸専門家（東大），鈴木哲専門家（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）周辺局在化モード（ELM）制御コイル開発の進展
2）トロイダルコイル（TF）導体の熱・電磁サイクルによる劣化と対策
3）イオンサイクロトロン共鳴加熱（ICRH）アンテナの設計
4）プラズマ対向機器（PFC）設計と配置戦略

図2　STAC-25参加者による組立建屋見学時の様子（左奥に2機のサブセクタ組立ツール（SSAT）が見える）．

の4つの項目に対して,ITER機構の報告を聴取してITER理事会への提言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3つのサブグループに分かれてITER機構の報告内容を検討した．その結果,ELMコイルの取付け部の疲労設計に関する課題解決の推進や第一壁高熱負荷部（特に湾曲部）に関する追加的な試験の実施をITER理事会に勧告すると共に,懸案事項となっていたTF導体の熱・電磁サイクルによる劣化については，劣化が生じることは予想されるものの TFコイルの要求性能に影響を及ぼすものではないというITER機構の結論を支持した．さらに，ICRHアンテナの初期設計が順調に進んでいることを確認し，次回STACにおいて予備設計レビューに向けたICRHシステムの設計及び開発計画を報告することを要請した．

なお，次回の会合（STAC-26）は令和2年5月12～14日にITER機構本部にて開催される予定である．

3. TFコイル1号機封止溶接完了,2号機巻線完成

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．最初の2機は三菱重工業（株）の二見工場で製作が進められており，いずれも一体化作業中である．

TFコイル1号機の製作は一体化作業の中盤に差し掛かっており，封止溶接を完了したところである（**図3**）．封止溶接とは，WPを収めた後のコイル容器に蓋を溶接することで，コイル構造の強度を高めるとともに，含浸のためにコイル容器を密閉する作業である．具体的には，まずはD型の直線部が下になるようにコイル容器直線部を床に設置して，そのコイル容器内にWPを挿入し，その上からコイル容器曲線部を被せてコイル容器間を溶接で繋げる．その後，各コイル容器用の蓋をD型の内周側へ入れ込む作業を行うが，蓋は最終的にコイル容器に収まる形状で製作されていて,そのままの形状ではD型の内周側に入れ込むことができないことから，一旦，蓋を曲げて長手方向の距離を縮めた上でコイル容器の内側へくぐらせてから元の形状に戻してコイル容器に収め，コイル容器と蓋の溶接を行った．蓋の溶接の際には溶接縮みによる変形のバランスをとるため,直線部と曲線部の溶接はほぼ同時に行い，レーザートラッカーで溶接変形の挙動を監視しながら溶接の順番を調整した．自動溶接機6台を駆使することで，約1か月でこの溶接を完了した．封止溶接による変形量は試作で観測された変形量と完全に一致していた．これは試作が実機を模擬した条件で適切に行われたこと，また，この試作の結果をもとに練られた一体化の方針が適切であったことを証明している．2号機以降の封止溶接による変形も同等となることを想定し，計画を進める予定である．

TFコイル2号機は,WPの製作が2月に完了し(**図4**)，3月から5月初め頃までWPの最終検査として,リーク試験，冷却試験，及び電気試験を実施した．1号機から学習した内容が改善点として取り入れられていたため試験は滞りなく進み，現在，コイル容器との一体化作業へ移行している．WP製作はすでに製作における問題点が改善され，量産化が始まったと言える．

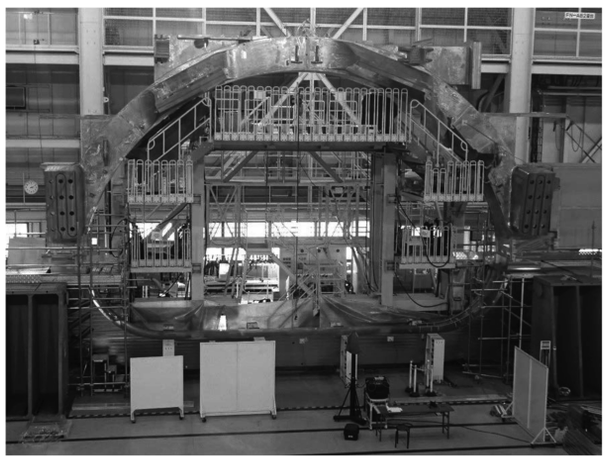


図3　封止溶接完了後のTFコイル1号機.

図4　完成検査終了後のTFコイル2号機用WP.

4. 効果を上げつつあるITERへの人的貢献増強策

量研は，政府からの要請を受け，日本における公募の窓口としてITER機構職員等への邦人応募の事務手続きを支援している．日本からの人材はITER計画にとって貴重なリソースというだけでなく，将来の核融合原型炉に向けた技術の継承の観点からも重要なものである．ITER計画に求められる人材は，核融合開発に携わる人材だけでなく，広くITやプラント技術，及び非技術分野（人事，広報，調達，法務，知財，許認可等）に渡っている．

ITER機構の活動に参加するには，職員の他に，ITERプロジェクトアソシエイツ（IPA），ポスドクフェロー，及びインターンシップの制度があり,いずれもITER機構による公募に対して,参加国の国籍を有する方が応募できる．2019年5月末現在，ITER機構には職員887名，ポススドクフェロー6名，IPA91名の合計984名が勤務しているが,このうち邦人は,職員27名,ポスドクフェロー1名，IPA5名の合計33名であり，適切な人員とは言え

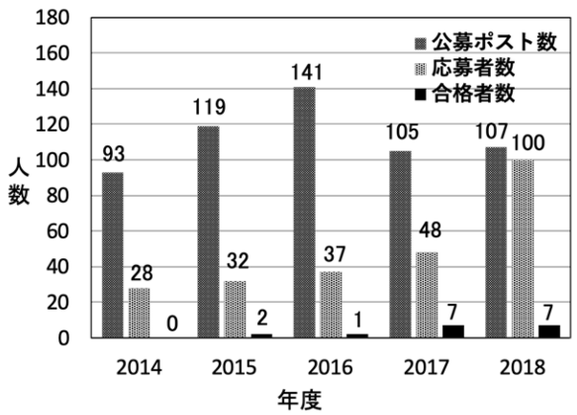


図 5 ITER 機構職員の公募ポスト数に対する邦人応募者数と合格者数の推移．なお，2018 年度公募ポストへの応募者のうち 9 件が審査中である（2019 年 6 月 19 日現在）．

ない状況である．

ITER 参加国の適切な職員割合は，ITER 機構としても重要な課題であり，ITER 機構と連携して，日本から人的貢献の増加を図っている．2017 年からはゼネラルエンジニアリング（株）に職員応募窓口業務を委託し，情報の周知活動を大幅に見直して，転職フェアへの出展，求人情報サイトなどのウェブサイトやLinkedInなどのソーシャルメディアを活用し，応募者の裾野を広げる活動を行っている．量研東京事務所での平日夜間の説明会の開催，職員応募希望者の量研那珂核融合研究所見学会という新しい試みも始めた．また，応募書類の書き方のアドバイスと添削指導，模擬面接トレーニングにも力を入れている．これらの増強策の結果，核融合分野以外を含む幅広い業種から優秀な応募者を大幅に増やすとともに，従来は約 3%だった合格率を約 10%に向上させることができた（**図 5**）．また，中央統合本部長という重要なポストにも邦人職員が就いた．今年 1 月以降は毎月合格者があり，赴任予定者の 3 名を合わせると 2019 年 9 月には邦人職員は 31 名になる見込みである．

従来の ITER 機構への直接雇用に加えて，2017 年に新たに設けられた IPA 制度は，職員の枠外での人的貢献の方法として設けられた出向制度で，現在の勤務先に在籍したまま，ITER 機構で活動する．原則として給与は勤務先から支給し，ITER 機構は主に旅費，滞在費などの経費を負担する．IPA として人材を派遣する際の企業のメリットとしては，最先端技術に触れ，優秀な技術者と交流する好機であるとともに，多国籍・英語使用の環境で揉まれることにより，短期間でのスキルセットの大幅アップに繋げることが挙げられる．現在，IPA として企業から 3 名，量研から 2 名の合計 5 名が参加している．また，現在 2 名の手続きが行われている．

ポスドクフェローは，ITER機構とモナコ公国の連携協定に基づいて，5 名の若手研究者が 2 年毎に任命されるもので，現在 1 名の邦人若手研究者が研究活動を行っている．インターンシップについても大学等への広報活動が効果を上げて，2018 年は 5 名が参加し，2019 年には 4 名の邦人学生が ITER に参加する予定である．

ITER への人的貢献増強策の効果が現れて来ているところであるが，適正な邦人職員（100 名以上を目標としている）にはまだ及ばない．今後は建設から運転を見据えた職員構成にシフトするに従い，核融合研究者の求人が増加することが見込まれる．更なる邦人職員，IPA，インターンシップの増強のため今後も学会員の皆様のご協力をお願いしたい．

（ITER 公募案内： http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/staff/jobs.html）

5. 文部科学副大臣・永岡桂子氏の ITER 機構及び NBTF サイトの視察

文部科学副大臣・永岡桂子氏が，2019 年 5 月 2 日に ITER 機構，翌 3 日にイタリアに建設中の ITER 中性粒子入射装置実機試験施設（NBTF）を視察された．

ITER 機構では，ビゴ機構長，多田副機構長らと会談，ITER サイトの見学，さらに日本人職員と懇談され，関係者を激励された（**図 6**）．NBTF では，ホスト Consorzio RFX のソナート所長らが，RFX が NBTF ホストとして，また幅広いアプローチ(BA)活動の機器調達担当として，ITER・BA 両プロジェクトで日本と強い協力関係にあることを紹介され，サイト見学では，日本調達機器である直流 100 万ボルト高電圧電源機器の状況を視察された．本視察には，在ミラノ総領事・雨宮雄治氏も参加された．最後にプレートに激励の言葉を記して頂いた（**図 7**）．

図 6 ITER 機構にて．ビゴ機構長と挨拶し，多田副機構長からサイトの説明を受ける．

図 7　NBTF サイト視察．来所記念プレートとサイト見学の様子．

なお，そのときの様子は，以下 Facebook にも紹介されている．
ミラノ総領事館
http://fb.com/599392873863392/
Consorzio RFX
http://fb.com/1411527915655367
QST NB チーム
http://fb.com/670575060059084

6. 「極低温におけるオーステナイト系ステンレス鋼の破壊靭性値とオーステナイト相の安定度との相関」が低温工学・超電導学会　令和元年度論文賞を受賞

5 月 29 日，茨城県つくば市で開催された 2019 年度春季第 98 回 低温工学・超電導学会研究発表会において，ITER プロジェクト部超伝導磁石開発グループの櫻井研究員らが論文「極低温におけるオーステナイト系ステンレス鋼の破壊靭性値とオーステナイト相の安定度との相関」に対して令和元年度論文賞を受賞した（**図 8**）．

オーステナイト系ステンレス鋼は極低温においても靭性が低下しにくいため，液化天然ガスタンクや超伝導設備に使用されており，ITER トロイダル磁場（TF）コイルの構造材料としても約 5,000 トンが使用されている．

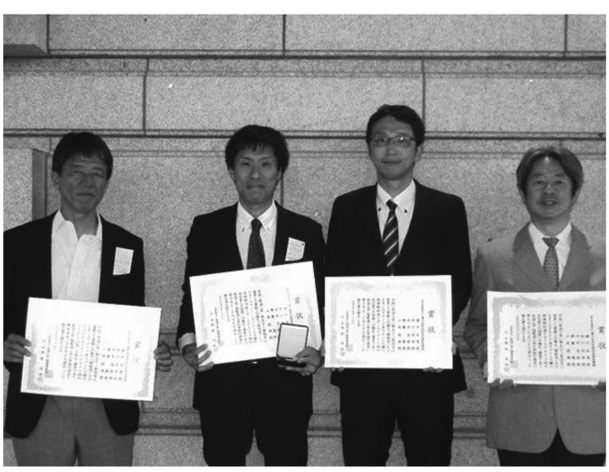


図 8　論文賞を受賞した超伝導磁石開発グループ（左から小泉次長，櫻井研究員，井口主任研究員，中平グループリーダー）．

ITER TF コイルは-269℃という極低温で運転されるため，設計要求にその温度における引張強度と破壊靭性値が含まれているが，特に破壊靭性値は予測が難しく，かつ極低温で測定するためには多くの時間と費用が掛かっていた．

櫻井研究員らはオーステナイト系ステンレス鋼の相変態に着目し，実機大試作材及び複数の製造方法や化学組成で製作されたオーステナイト系ステンレス鋼材の極低温での破壊靭性値を取得及び評価した．その結果，化学組成と結晶粒度から求められるオーステナイト相の安定度（Md30）との間に強い相関を持つことを見出し，相関式の提案を行った．

検証の結果，Md30 を指標に製造した材料の実際の化学組成から求められる予測値の誤差は-2.1，1.3%で，これにより簡便かつ精度良く破壊靭性値を予測できることを実証した．

7. 「ITER NBI 100 万ボルト直流超高電圧電源の開発」が（一社）電気学会，第 75 回電気学術振興賞（進歩賞）受賞

ITER の加熱・電流駆動を担う中性粒子入射装置（NBI）用直流 100 万ボルト高電圧電源の開発は，量研が（株）日立製作所と協力して進めてきたものであり，このたび，NB 実機試験施設（NBTF）用に 1 基完成し，（株）日立製作所の担当者と共に，量研・ITER プロジェクト部 NB

図 9　本機器開発に携わったグループ員と．

加熱開発グループリーダーの柏木美恵子が表彰を受けた（**図 9**）.

本機器は，世界最大出力となる 1 MeV，40 A の負イオンビームを生成するための電源であり，世界でもほぼ類をみない直流 100 万ボルトを発生する変圧器，整流器，フィルター回路，特殊なサージ吸収機器，100 万ボルト伝送管などから構成される全長 100 メートル近い長尺機器であり，100 万ボルトの高電位上で電力をビーム源まで伝送するものである．現在，NBTF サイトでは欧州調達機器と接続した統合試験を行っており，殆ど完成に近い電源機器の姿をみることができる．NBTF サイトは，イタリアのベニス空港から車で 40 分程度，歴史ある大学街・パドバにあり，お近くにお寄りの際，見学大歓迎である．

（量子科学技術研究開発機構
核融合エネルギー部門）

インフォメーション

ITERだより（77）

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

ITERでは，電磁波でプラズマを加熱する電子サイクロトロン加熱・電流駆動（ECH/ECCD）システムの中核となるジャイロトロン（電磁波発生装置）を24機使用する．電磁波によるプラズマ加熱の原理は電子レンジによる食品の加熱と同じであるが，電子レンジが周波数2.45 GHz，出力 600 W なのに対して，ITER ジャイロトロンは 170 GHz，1 MW である．日本，欧州，露，印により 24 機のジャイロトロン調達を分担するが，日本国内機関である量子科学技術研究開発機構（以下，量研）は，170 GHz－1 MW ジャイトロン 8 機の製作を進めており，2018 年 2 月までに 4 機を完成（**図 1**），2018 年 10 月には 1 機目の完成検査を終了させ（ITER だより（72）参照），その後も 2 機目の完成検査を進めてきた．完成検査における要求性能は，

- 1 MW－300 秒，電力効率 50%以上
- 1 MW－300 秒，電力効率 50%以上のショットで成功率 90%以上（20 ショット中 18 ショット以上）
- 0.8 MW 以上及び 60 秒以上で，1～5 kHz の出力変調運転

である．**図 2** 左に 1 MW－300 秒の運転波形（上から順に，ボディ/アノード/カソード電圧，ビーム電流，出力），右にビーム電流に対する出力及び電力効率のグラフを示す．安定した連続動作，及びビーム電流 30 A 以上において電力効率 50%以上で安定に動作することを確認した．また，繰返し率（高周波発生 ON/OFF の時間の比率）25%で 1 MW 出力/300 秒間/電力効率 50%以上の 20 回連続運転で成功率 95%を実証した．さらに，出力変調運転でも要求性能を満足し，2019 年 7 月にその結果を ITER 機構へ報告してジャイロトロン 2 機目の完成検査に合格した．

図 1　ITER ジャイロトロン実機．左：2 機目の試験セットアップ，左：1, 3, 4 機目．

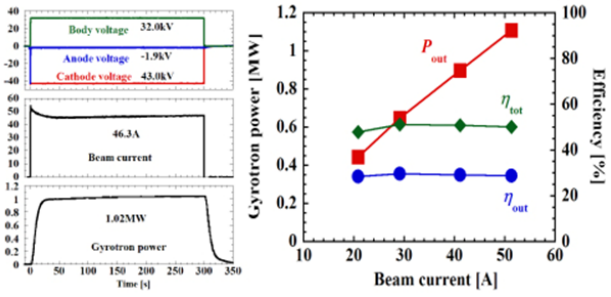


図 2　完成検査データの一例．左：1 MW－300 秒波形，右：ビーム電流 vs 出力，効率．

2. 量研理事長表彰：核融合炉のためのレーザー偏光計の研究

量研では，プラズマを閉じ込める磁力線のねじれ量であり安定性の指標である安全係数を，レーザー偏光計で高精度に計測する手法をソフトウェア・ハードウェアの両面から研究を行っている．その研究成果を用いて，レーザー偏光計を従来の研究室規模から ITER の規模にスケールアップし，日本が調達を担当する ITER ポロイダル偏光計に適用した．レーザー偏光計では計測データをトモグラフィ処理することで，安全係数分布を得る．ITER のプラズマは，従来よりも高温，高密度で大体積（JT-60U の約 8 倍）であるため偏光の変化が複雑化（ファラデー効果とコットン・ムートン効果がカップリング）し，測定誤差が増大することが課題となっていた．従来無視してきた偏光の楕円化も測定するとともに，他の計測器で測定した電子密度及び電子温度の 1 次元分布を計算の中に組み込むことで高精度な安全係数評価を可能にした（誤差が 15 %以上低減）．また，偏光の楕円化を高精度かつ外乱に影響を受けないように測定するために，回転波長板方式を世界で初めて導入し，2 ms の時間分解能を有するこれまでにない実時間計測システムを完成させた．これらのソフトウェア・ハードウェアの設計は，ITER 機構が開催する設計レビュー会合において審査され，ITER ポロイダル偏光計の設計として承認されている．

従来のレーザー偏光計は安全係数か電子密度のどちらか一方しか測ることができなかったが，安全係数に加えて電子密度及び電子温度の分布も同時に測定可能となる

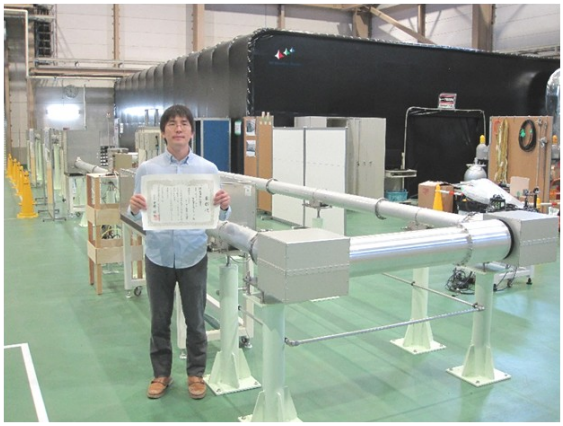


図3　令和元年度 量研理事長表彰（研究開発功績賞）を受賞した際の今澤主幹研究員．

画期的な評価手法を新たに開発した．本手法を適用するには，レーザー偏光計の測定データ（偏光面の回転と楕円化）以外に，最外殻磁気面の位置形状だけが既知であれば良い．そのため，設置できる計測装置の数に限りのある将来の核融合炉にとって重要な手法として国内外で高く評価されている．

以上の「核融合炉のためのレーザー偏光計の研究」に関する成果で，今澤良太主幹研究員らが令和元年度 量研理事長表彰（研究開発功績賞）を受賞した（**図 3**）．

今後も核融合エネルギー実現に向け，更に研究開発に精進していく．

3. ITER 機構中央統合本部長への着任報告
吉田篤司，Head of Central Integration Office, ITER Organization

5 月 15 日に ITER 機構（IO）の中央統合本部長（Head of Central Integration Office）に着任して，約 2 カ月が経過した．当職の責務は，システムズエンジニアリング，物理的･機能的設計統合，機器構成管理，設計取合管理，設計図書管理，などの設計管理を実行する組織の運営である．よって，IO のエンジニアリング部門ならびに国内機関を横断的に取りまとめることが要求される．そのうえで，複雑かつ大規模であることを特徴とする ITER プロジェクトにおいては，物理的･機能的設計統合と機器構成管理に期待される結果を着実に出していかなければならない．

職場においては，そもそもプロジェクトが複雑かつ大規模であり，さらには人類初の核融合実験炉建設特有の要因もあり，山あり谷ありという局面も多々ある．しかし，関係者の間でプロジェクトの大きな目標が共有された環境で，Bigot 機構長の強いリーダシップの下，ITER Values* を行動基準とする同僚･部下，そして国内機関の方々と手を携え，前進する努力を，日々，していくところから本物のやり甲斐なり達成感が出てくるものと考えている．

こちらでの生活について言えば，若い頃からフランスの芸術に関心があったため，フランスに住んでいること自体に感激しているのであるが，美味な食物やワインが，手頃な価格で日常的に手に入ることを第一に申し上げたい．南仏という場所がら，陽光をたっぷり浴びた地元産の野菜や果物はもちろん，地中海の魚類もなかなか良い．地中海産のマグロは，日本では冷凍モノであるが，こちらでは生で手に入る．欧米人あこがれのプロバンスの生活はもとより，Aix-en-Provence に住居を構えれば，フランスの優雅な都市文化に浸ることもできる．近隣には Where to go も随所にある．ITER が Coteaux de Pierrevert という良質なロゼワインの産地に立地していることも頭の片すみに入れていただきたい．

以上のような，仕事･生活の均衡と充実は，当職の個人的見解にとどまらず IO 日本人職員に共通した感想と思う．本稿に目を通したことが，人類の未来を切り開く ITER プロジェクト参画へのきっかけになれば，幸いである（**図 4**）．

図4 ITER機構中央統合本部長 吉田篤司氏．

* ITER Values:“ITER Organization Code of Conduct”（ITER 行動規範）で定められた ITER 機構職員が従う基準であり，Diversity and Inclusiveness, Trust, Team mind set, Loyalty, Excellence, Integrity について示されている．

4. 第 6 回日中韓 ITER 国内機関技術会合

日本，中国，韓国による第 6 回日中韓 ITER 国内機関技術会合が，8 月 1 日～ 2 日に韓国ソウルのプレジデントホテルにて開催された．各国の政府関係者も含め，会議には日本，中国，韓国からそれぞれ，13 名，15 名，14 名が出席した（**図 5**）．会合では設計･製作が進んでいる各国の調達機器についての最新状況の報告と，技術課題や調達管理上の課題に関する議論が行われた．

冒頭に会合の主催者である韓国科学情報技術部の Jee 課長より挨拶があり，3 カ国の国内機関の協力の重要性を強調し，それが ITER プロジェクトの推進に大きく貢献することを表明された．また，文部科学省の新井知彦研究開発戦略官（核融合・原子力国際協力担当）からは，韓国への会合開催の謝辞と，3 カ国の協力が，2025 年に予定されている ITER のファーストプラズマ達成を導くことが強調された．

続く技術的議論では，先ず各国の国内機関長から最新の進捗の報告があり，中国からは，政府が全力を上げて核融合開発を推進しており，ITER と次期装置 China Fusion Engineering Test Reactor（CFETR）に特に注力していること，日本からは逐次の製作体制に移行した TF コイルの製作進捗状況，イタリア･パドバで建設中の ITER 中性粒子入射加熱装置実機試験施設用に日本が製作した高電圧電源機器の据付が終了し耐電圧試験を開始したことなど，韓国からも大型機器の真空容器や TF コイルと真空容器のアセンブリングツールなどの製作進捗の報告があった．また，ブランケットとダイバータ技術，コイルや真空容器などの構造物，超伝導コイルと導体技術，及び計測技術に関して，固有の課題とその対処について発表と議論が行われた．

本会合は，各国の機器製作で遭遇する技術的な課題のみならず，品質管理等の管理上の課題や，プロジェクト推進上の課題についても議論し共有化しており，必要に

図 5　第 6 回日中韓 ITER 国内機関技術会合の参加者.

応じて3カ国で,プロジェクトを取りまとめているITER機構への共同提案の作成も会議直後に行っている.今回も機器の輸送や保管,文書承認メカニズム等に関する共通課題の解決等について,共同提案する準備を進めることで合意した.

次回の会合は 2020 年に中国で開催する予定である.

5. ITER計画及びITER機構職員募集説明会の実施

量研は ITER 日本国内機関として,核融合エネルギーと ITER 計画への理解,ITER 機構への職員応募を促進するための活動を行っている.その活動の一環として,7 月 10 日～ 12 日に横浜で開催された第 14 回再生可能エネルギー世界展示会＆フォーラムに出展した（**図 6**）.

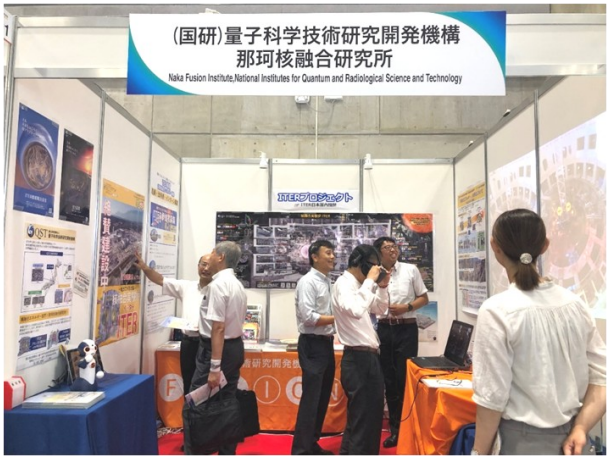


図 6　第 14 回再生可能エネルギー世界展示会＆フォーラム展示ブースの様子.

図 7　出展者プレゼンテーションの様子.

量研のブースには3日間を通してエネルギー問題に関心が高い約 300 名の来訪者があったが,核融合エネルギーをご存じない方も多く,核融合発電の仕組みやフランスに建設中の核融合実験炉ITERについて熱心に聞いていただいた.また,ブースで配布した ITER を題材にした漫画は非常に好評であり,ITER に興味を持っていただける良い機会の一つとなった.さらに,展示会場内に設けられた出展者プレゼンテーション会場において,核融合研究の概要を説明し,より多くの方に核融合エネルギーをご理解いただくことができた（**図 7**）.

今回の出展を通して,核融合研究や ITER 計画は一般的に認知度が低く,認知度向上を図るための活動がまだまだ必要であることを改めて認識した.今後もこのような広報活動を行い,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 核融合エネルギー部門）