



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团）。

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月中旬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）



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・デュランズ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張するということや、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認した。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/>

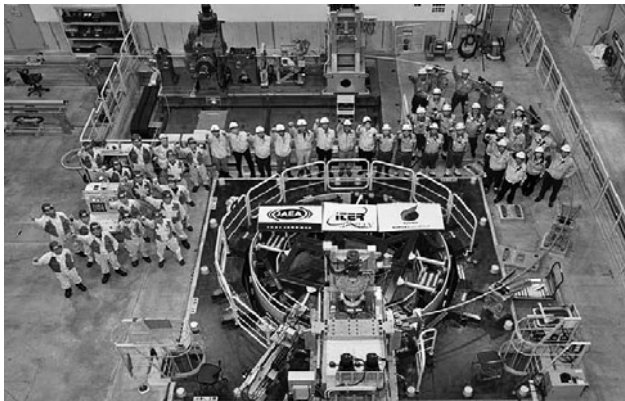


図1 図北九州市の専用工場にて製作が完了した最後のトロイダル磁場コイル用導体。

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 プランケット遠隔保守装置の調達進展、ITER テストプ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)

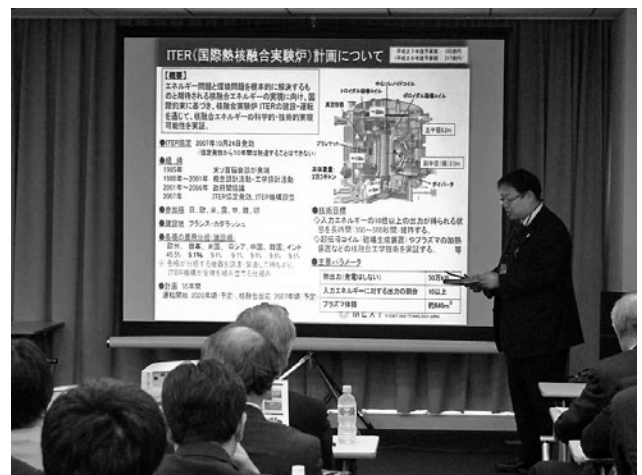


図2 第21回 ITER 企業説明会の様子。



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い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認し、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、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25m、長さ80m、高さ12.5m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：5m×5m、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

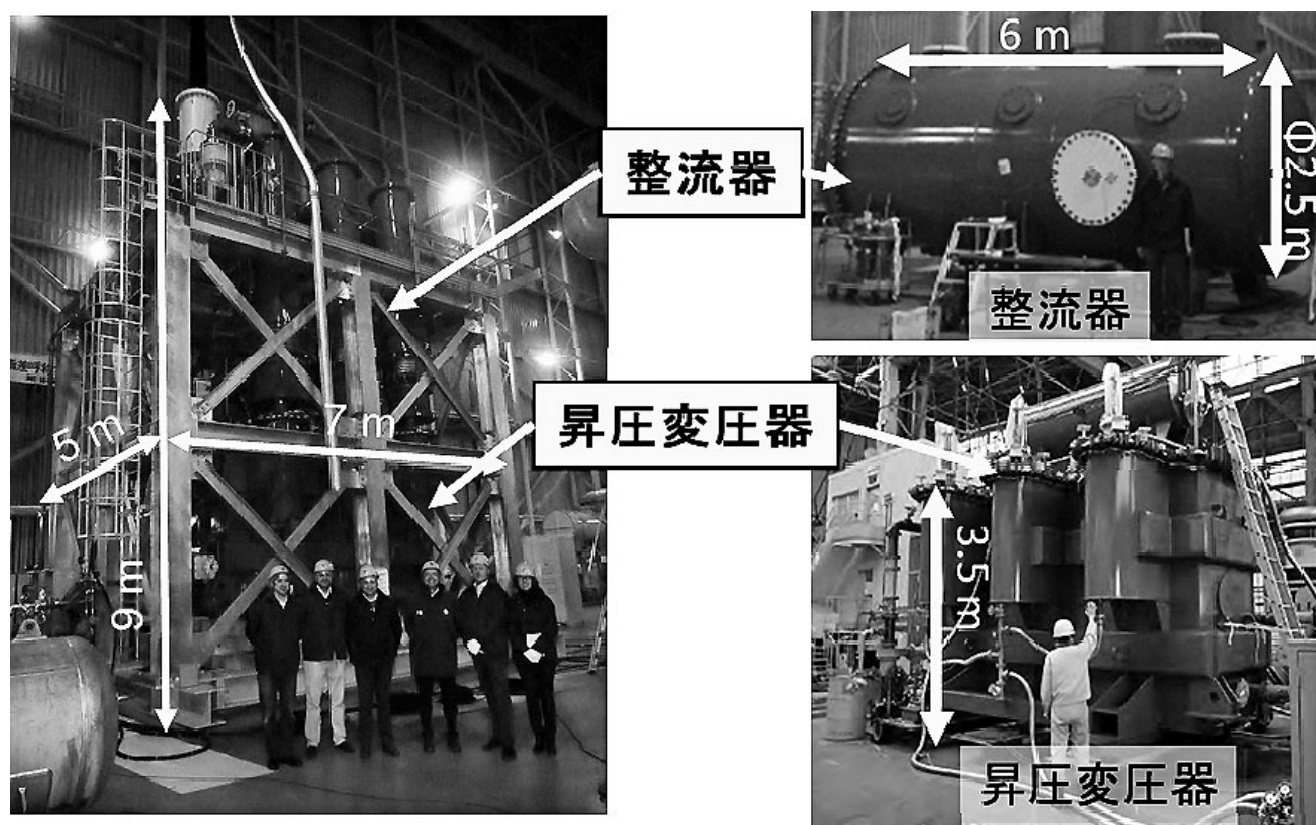


図2 20万ボルト直流発生器と、これを構成する昇圧変圧器と整流器。



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ル・ビゴ新 ITER 機構長。

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認試験を行っていた 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



図6 日本国内機関の展示ブースでの説明。

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・非公式な話し合いを通して 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)



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



図1 ITER 機構副機構長多田栄介氏。

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。

本年3月に機構長に就任したベルナル・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

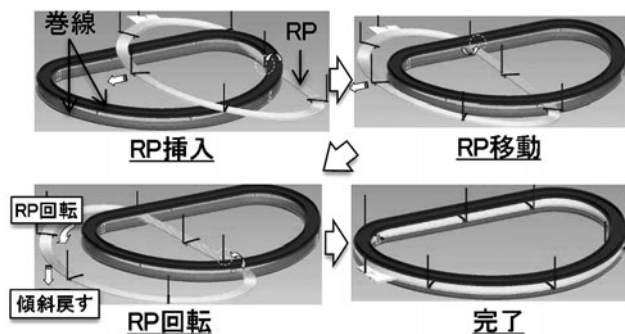


図3 トランスファ作業の流れ。

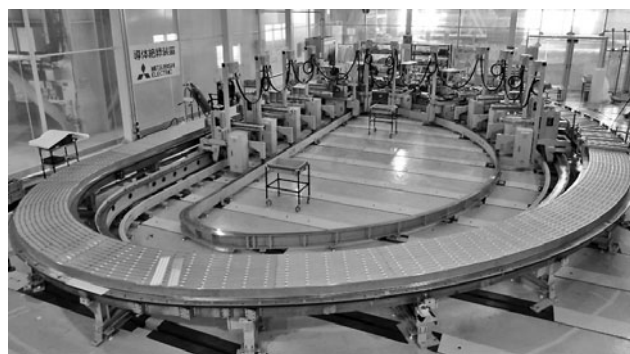


図4 トランスファ及び導体絶縁作業を完了したTFコイル第1号機用の巻線。

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400mm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に2011年11月に締結した。この取決めにに基づき、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DESTAL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荻田記念受賞

2015年5月29日に、日本鑄鍛鋼(株)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「荻田記念賞」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、

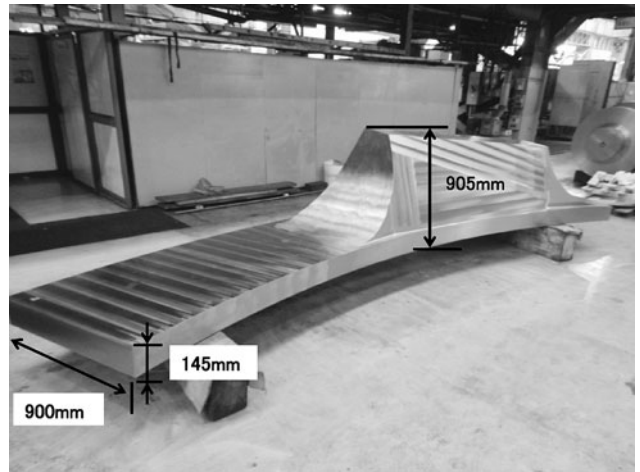


図6 TF コイル構造物部材の最終製品(例)。

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、原子力機構と日本鑄鍛鋼(株)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鑄鍛鋼(株)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）



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NBTF実験施設(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100m、直径1.5~2m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:SF₆)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つの異なる電位の導体を通されており、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40mmスライドする機能を有している。

これまでに全長約100m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)

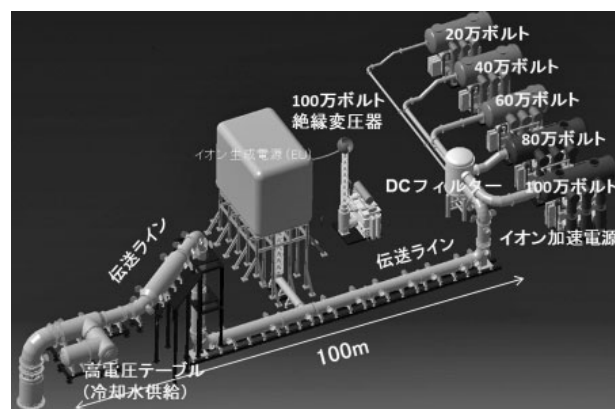


図2 NBTF電源システム。



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。

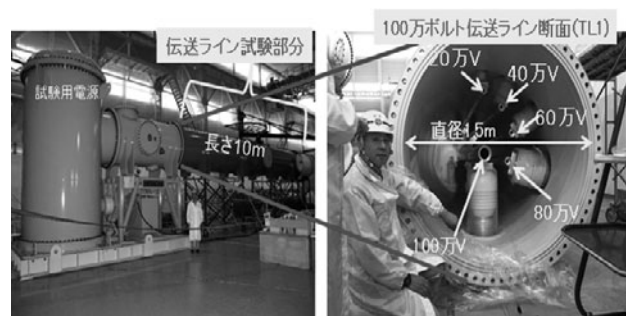


図3 伝送ラインの耐電圧試験(左)と内部断面構造(右)。



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) に組み込み、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 導体が十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本の銅線からなる燃線が、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み込み、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

導体の実機動作条件において十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。

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。

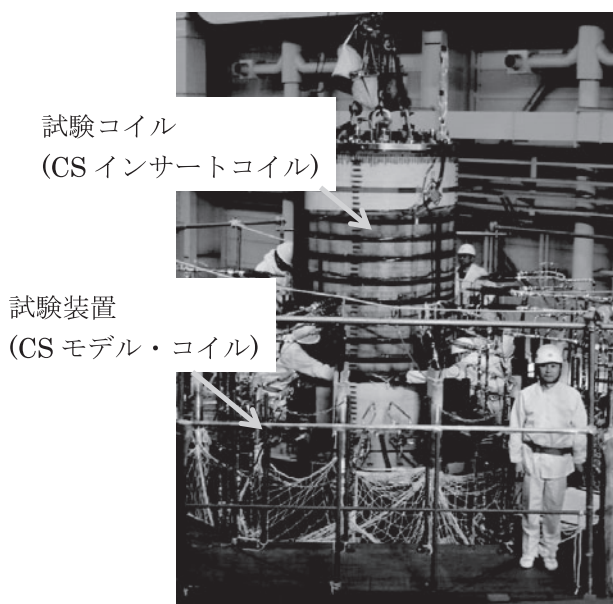


図 1 試験コイルの試験装置への組み込み。

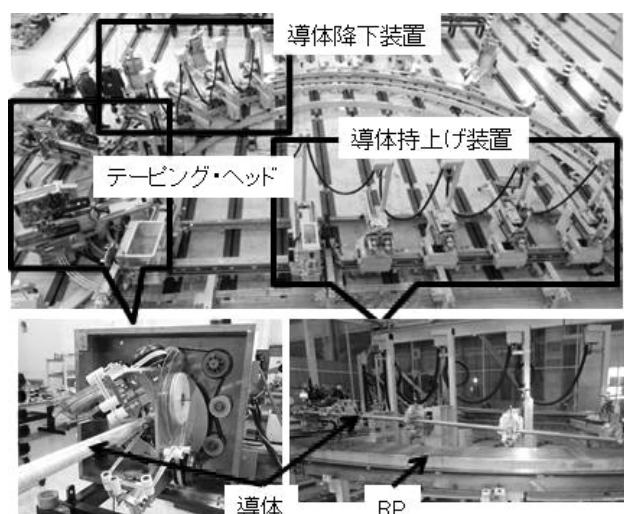


図 2 導体絶縁装置。

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

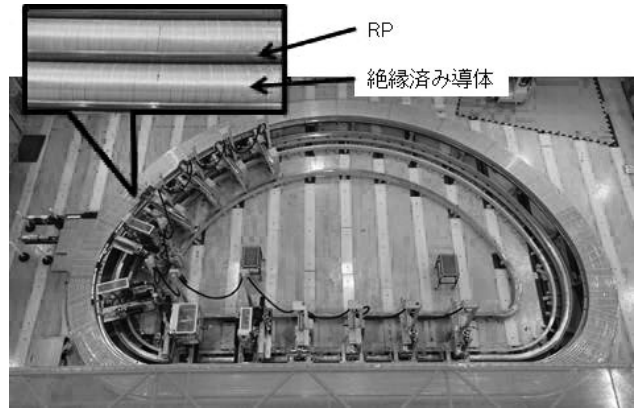


図3 導体絶縁作業を完了した TF コイル第1号機用の巻線。

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)

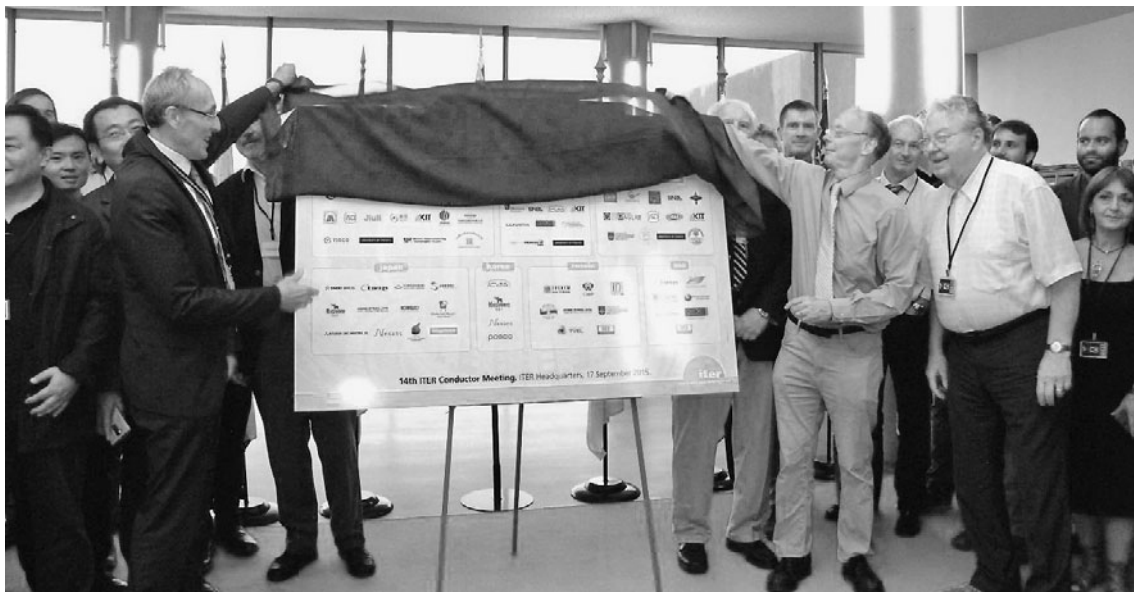


図4 ビゴ ITER 機構長による導体製作に係わったメーカー等の功績をたたえるプレートの除幕式。