

幅広いアプローチ活動だより(65)

1. 第19回幅広いアプローチ(BA)運営委員会の開催

12月14日にスペイン・マドリードのCIEMAT(スペインエネルギー・環境・科学技術研究センター)国立核融合研究所において、第19回BA運営委員会が開催されました(図1参照)。参加者は、欧州からパネック欧州委員会エネルギー総局原子力・安全・ITER局ITER課長(欧州代表団長)を含め委員3名と専門家9名、日本側から松浦文部科学省研究開発局研究開発戦略官(日本代表団長)を含め委員4名と専門家11名、各事業長及び各事業委員会議長他8名の計35名が参加し、各事業長から事業の進捗を確認するとともに、各事業の2017年作業計画を承認しました。

IFMIF/EVEDA事業に関しては、高周波四重極加速器(RFQ)の高周波源が、六ヶ所サイトに納入・据付されました。現在、CIEMAT、INFN(イタリア国立核物理研究所)、CEA(フランス原子力・代替エネルギー庁)からの技術スタッフが、事業チーム、日欧実施機関と共に、現地でのイオンビーム計測機器とRFQの試運転や、冷凍設備据付のための作業を精力的に行っています。ブラジモネ研究所(ENEA)のLifus6装置は2016年11月に成功裏に目的を達成し、リチウムターゲットの腐食が問題とならないことが示されました。

IFERC事業に関しては、ヘリオススーパーコンピューター(六ちゃん)は高い稼働率、利用率で運用され、2012年の運用開始以来、580編以上の重要な科学技術論文が発表されたことが報告されました。5年に渡り特筆すべき実績と成果を上げたスーパーコンピューターは、2016年末に運用を終了します。遠隔実験センターでは、六ヶ所サイトとフランスのITERサイト間で、これまでの記録を破って30分以内に1TBの実験データを高速転送する実証試験に成功しました。

サテライト・トカマク計画事業については、前回会合以降の進捗が報告されました。特に、欧州による3機のトロイダル磁場コイルの那珂サイトへの納入、日本による全平衡磁場コイル製作の完了、真空容器を取り囲む真空容器サーマルシールドの進捗、冷凍機システムの試運転の完了、など調達と組立が着実に進捗していることが報告されました。

青森県と六ヶ所村からは、欧州研究者及びその家族に対する高水準の生活支援や教育支援に関する報告が行われ、運営委員会は青森県と六ヶ所村の多大な貢献に対し感謝の意を表明しました。

次回会合は、2017年4月27日に青森県六ヶ所村で開催される予定です。

2. IFMIF 原型加速器の据付が進展 ～クライオプラント及び高周波伝送系の整備～

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構(量研機構)六ヶ所核融合研究所では、IFMIF原型加速器の整備が着々と進められています。

10月～11月にかけて入射器(イオン源)(フランス原子力・代替エネルギー庁(CEA)のサクレー研究所が担当)の高性能化実証試験を実施し、低Duty(3%)ではありますが目標の電流値140mAで、ビームの品質の指標であるエミッタンス、RFQへの入射条件等全てを満たすパラメータ(電極電圧、高周波パワー、ガス流量、ソレノイドコイル電流等)を同定できました。

加速器及び付属機器の据付調整に関しては、初段加速部である高周波四重極加速器(RFQはイタリア国立核物理研究所(INFN)レニャーロ研究所が担当)の整備が進められ、真空ポンプ、高周波結合ポート(RFカプラ)が取り付けられ、RFQ内部の不純物を除去し高真空を維持するためのベーキングが施されました。ま



図1 第19回BA運営委員会の出席者。



図2 据付が進行中のRFQ本体（左）と高周波伝送系（右）。



図3 クライオプラント。

たRFQに大電力高周波を伝送するための大口径同軸導波管の設置が進み、大電力高周波源から地下ピットを介した 8 系統の伝送ルートの設置が完了しました（図 2）。引き続き、冷却水配管の整備、ケーブル配線の整備が続けられ、RFQによるビーム加速試験に向けた整備が進んでいます。

さらに高圧ガス製造に関し青森県から認可を受け、RFQの後段に設置される超伝導ライナック用の液体ヘリウム冷凍機（クライオプラント）の据付を開始しました（図 3）。液体ヘリウムを流すクライオジェニック伝送ラインが加速器のすぐ近くまで設置され、冷凍機、デューワー、圧縮機等と接続されました。クライオプラントでは大型の機器となる液体窒素タンク及び 10mの高さを超えるヘリウムガスのバッファタンクも設置され、コミッショニングを待つ状況まで整備が進みました。



図4 組立てが完了したVVTS。

3. サテライト・トカマク（JT-60SA）計画の進展

(1) 真空容器のサーマルシールドの340度分の設置完了

超伝導コイルは運転時、極低温（4 K）に冷却されますが、その極低温状態を維持するためには、周りからの熱侵入を抑える必要があります。JT-60SAでは、サーマルシールドと呼ばれる板厚 3 mm のステンレス二重構造内に配管を張り巡らした熱遮へい板を設置し、運転時は配管に 80 K のヘリウムガスを循環させ冷却することで、超伝導コイルへの熱侵入を抑えます。真空容器サーマルシールド（VVTS）は、主に真空容器（運転時は常温）からの熱輻射を遮断します。

2015（平成 27 年）1 月に開始したVVTS の組立がトロイダルコイルを回し込むために必要な開口部の 20 度セクター分を残し、設置が完了しました。なお、最終セクター用のVVTS についても仮設置して両隣のセクターとの接続状態を調査し、問題のないことを確認しました（図 4）。

(2) トロイダル磁場コイルの組立開始

340 度分のVVTSの組立完了を受けて、トーラス型閉じ込め装置の最重要コンポーネントであるトロイダル磁場コイル（TFC）の組立を開始しました。また、専用の起立架台を用いてTFCを起立させ、自重変形させた後に計測を行いました（図 5）。変形はプラズマの性

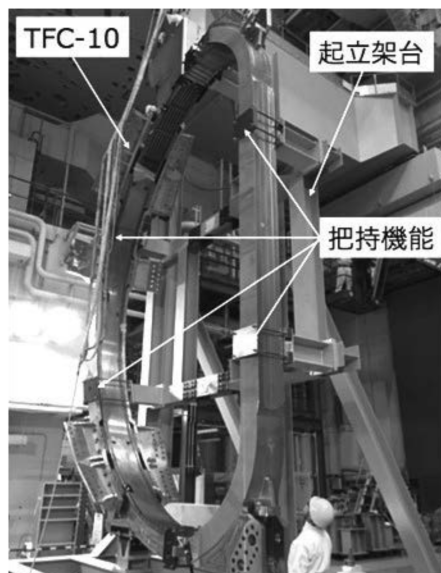


図5 起立したTFC-10.

能を劣化させる誤差磁場の要因となるため、組立では、レーザートラッカーによる計測とジャッキによる位置合わせによって変形を修正しながら設置を進めます。図 6, 7 は一体目の TFC-10 組立の様子を示しています。開口部からトーラス方向に 180° 回し込み所定の位置に移動を完了しました。

(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)

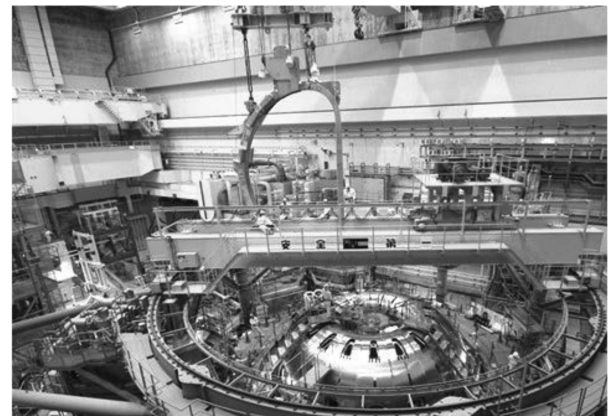


図6 天井クレーンにてTFC-10を本体位置まで移動.

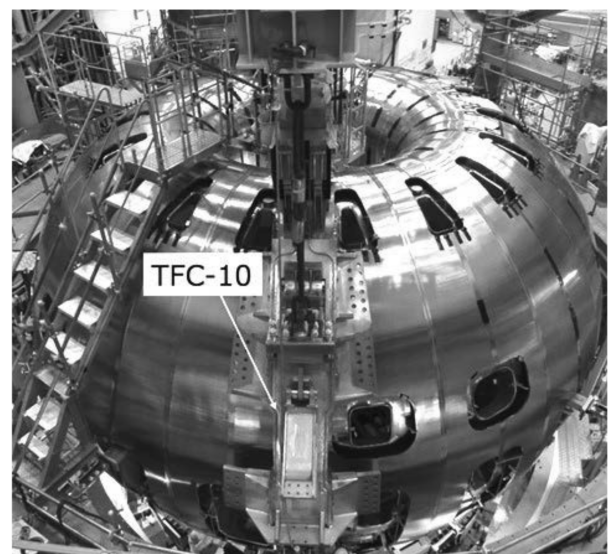


図7 組立クレーンを用いた一体目TFCの所定位置(開口部の反対側)への移動の完了.

幅広いアプローチ活動だより(66)

1. 第 20 回 IFERC 事業委員会が開催

2017年3月22日～23日に量子科学技術研究開発機構六ヶ所核融合研究所のITER遠隔実験室において、第20回 IFERC 事業委員会が開催されました。欧州側からメゾニエ議長を含む委員3名と専門家7名、日本側から委員3名と専門家11名、これに中島事業長及び事業チーム員7名と書記1名の計33名が参加しました(一部、欧州からはビデオ会議により参加。図1参照)。今回の事業委員会では、IFERC事業の2016年年次報告、IFERC事業計画の改定、IFERC事業下の各活動の状況報告について審議。本年4月27日に青森県六ヶ所村で開催される第20回BA運営委員会に対するIFERC事業報告、事業計画改定に関して勧告をまとめた。主な確認・審議事項は、以下のとおりです。

IFERC事業は予定どおり進捗しており、計算機シミュレーションセンター活動では、5年間(2012年1月～2016年12月)にわたるスパコンHelios(六ちゃん)の運用を成功裏に完了しました。Helios(六ちゃん)は日欧の多く

の研究者に高い利用率で活用され、シミュレーションによる核融合研究の進展に寄与しました。ITER遠隔実験センター活動では、遠隔実験室及び関連機器の整備を2017年3月に完了しました。原型炉設計活動では、日欧共同作業の成果を取り纏めて第2中間報告書を作成しました。原型炉R&D活動では、当初に計画した原型炉のための材料開発(材料製造法、特性試験など)が完了しました。

次回の事業委員会は2017年10月25～26日に六ヶ所村で開催する予定です。

2. CSC closing ceremony

—CSCヘリオス「六ちゃん」完遂式—

2017年3月22日に六ヶ所核融合研究所で、第20回 IFERC 事業会合と併せてCSC closing ceremony —CSCヘリオス「六ちゃん」完遂式— が開催されました(図2参照)。BA協定に基づき2011年にIFERCに導入された核融合専用大型計算機Helios(ニックネーム「六ちゃん」)は2012年1月に運用を開始し、当初予定通り5年間の運用



図1 第20回 IFERC 事業委員会。



図2 CSC ヘリオス(六ちゃん)完遂式。

を行い2016年12月末に運転を終了しました。Heliosはこの間、最大567名の日欧研究者が利用し、Heliosを利用して639編(2017年2月集計)の査読付き論文が刊行され、大きな成果を挙げて大型計算機の共同運用という事業を完遂することが出来ました。これらの成果を記念して、関係者約50名が参加し、文部科学省研究開発戦略官、六ヶ所村村長、欧州委員会担当者、フランス大使館担当官などからプロジェクトの成功と完遂を祝して祝辞を頂きました。

CSCヘリオス完遂式の終了後は懇親会を開催し、日欧の親交を深めました。

3. 第19回 IFMIF/EVEDA 事業委員会の開催

2017年3月23日～24日に六ヶ所核融合研究所において、第19回 IFMIF/EVEDA 事業委員会が開催されました。欧州側から委員3名と専門家4名、日本側から高津議長を含めて委員3名と専門家7名、これにナスター事業長及び事業チーム員他18名の計35名が参加しました(図3参照)。今回の事業委員会では、主にIFMIF/EVEDA事業の年次報告を審議し、本年4月に青森県六ヶ所村で開催される第20回BA運営委員会に対する技術的な勧告をまとめました。事業の進捗は、以下のとおりです。

六ヶ所核融合研究所のIFMIF原型加速器施設において、超伝導加速器のための冷凍設備をはじめ、イタリア、スペイン、フランスより多くの主要機器が搬入され、日欧共同での据え付け作業が大きく進展しました。高周波四重極加速器(RFQ)の特性確認実験で設計通りの高周波性能が示されるとともに、さらなる性能向上を目指した入射器からのイオンビームの長時間引き出し実験において、イオンビーム電流値の記録が更新され、要求性能である140 mAのビーム伝送に成功しました。IFMIFの標的設備の実証試験については、イタリアENEAブラジモネ研究所の流動型液体リチウムによる低放射化フェライト鋼の浸食耐食性試験が、本年2月に全て完了し、リチウムによる腐食での損耗率を1 $\mu\text{m}/\text{年}$ 以下に抑えるという目標が容易に達成でき

ることが明らかとなりました。

今回の事業委員会は2016年10月19～20日に六ヶ所村で開催する予定です。

4. サテライト・トカマク (JT-60SA) 計画の進展

那珂核融合研究所では、JT-60SA建設の進捗を広く披露するため、今年1月に、「JT-60SAのフランス及びイタリアによる超伝導トロイダル磁場コイル製作と日本による同コイル組立開始を披露する式典」を欧州の調達機関である「ITER及び核融合エネルギーの開発のための欧州連合共同事業(F4E)」と共催にて開催しました。

トカマク型磁場閉じ込め方式において、ドーナツ状にプラズマを閉じ込めるための磁場を作るトロイダル磁場コイルは最重要コンポーネントと言えます。昨年の12月より、フランス及びイタリアが製作を担当している超伝導トロイダル磁場コイルのJT-60SAへの据付作業を開始しました。加えて、超伝導コイルの冷却を担う機器である核融合用としては世界最大級のヘリウム冷凍機システムの動作試験運転が成功裏に終了し、所有権が製作と組立を担当したフランスの原子力・代替エネルギー庁



図4 設置された2体のトロイダル磁場コイルを見学される水落文部科学副大臣。



図3 第19回 IFMIF/EVEDA 事業委員会の参加者。



図5 式典参加者の記念撮影(式典会場にて).

(CEA) から量子科学技術研究開発機構に移りました.

これらの重要なマイルストーンへの到達を披露するために、今年1月12日に式典及び見学会を開催しました. 水落文部科学副大臣(図4参照)並びにトーマス欧州委員会副総局長をはじめとし、駐日欧州連合代表部などの日欧関係者約147名にご参加頂くとともに、多くのご来賓の方々からお祝いの言葉とご期待を賜り、式典を盛況にとり行うことができました(図5参照). また、ヘリウム冷凍機システムの所有権移転の記念にサインプレートも作成しました(図6参照). なお、この式典及び見学会の様子は各報道機関にも興味深く取材していただき、NHKをはじめとする5つの報道機関で取り上げられました.

(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)

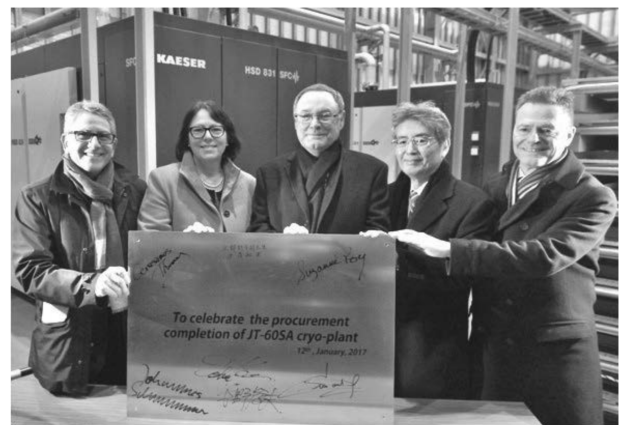


図6 ヘリウム冷凍機システムの所有権移転を記念するサインプレート.

幅広いアプローチ活動だより (67)

1. 第20回幅広いアプローチ (BA) 運営委員会の開催

2017年4月27日に六ヶ所核融合研究所 (青森県六ヶ所村) において、第20回BA運営委員会が開催されました (図1参照)。欧州からガリバ欧州委員会エネルギー総局原子力・安全・ITER局長 (欧州代表団長) を含め委員3名と専門家8名、日本側から増子文部科学省研究開発局審議官 (日本代表団長) を含め委員4名と専門家15名、各事業長及び事業委員会議長4名、他10名の計44名が参加しました。

今回の運営委員会では、IFMIF/EVEDA, IFERC, サテライト・トカマク計画の3事業について、各事業の進展を確認するとともに、2020年以降の日欧協力を見据え、2020年3月までの各事業計画の改定が承認されました。また、これまで本協定の下に日欧両極で行ってきた研究開発を発展的に継続するため、2020年以降の日欧協力について議論を行うタスクグループを本運営会議の下に設置することが合意されました。

IFMIF/EVEDA事業に関しては、IFMIF原型加速器 (LIPAc) の多くの機器がフランス、イタリア、スペインより六ヶ所核融合研究所に搬入され、日欧共同での据付が行われています。LIPAc用入射器は、次の5 MeVでのビーム調整運転フェーズに向け、調整が行われました。高周波四重極加速器は、2017年夏からの調整運転に向け、準備が進められています。LIPAcは2020年1月にビーム試験の準備が整う予定です。伊・ENEAブラジモネ研における標的設備の検証活動は、成功裏に完了しました。

IFERC事業に関しては、コンピューターシミュレーションセンターは、2016年12月にヘリオススーパーコンピューター

ター (六ちゃん) を高い利用率、信頼性、使用率で5年に渡る運用を成功裏に終えました。この間、核融合エネルギーの分野における600編以上の査読論文が刊行されています。遠隔実験センターは、遠隔実験室や設備などのインフラの整備が2017年3月に完了し、遠隔実験の実証の準備が整いました。

サテライト・トカマク計画事業については、高温超伝導電流リード、ポロイダル磁場コイル、電源システム、クライオスタット容器、中心ソレノイドコイル、真空容器熱遮蔽、等の調達、組立、据付、調整運転が着実に進展しています。さらに、真空容器の周囲に5体のトロイダル磁場コイルが据え付けられ、トロイダル磁場コイルの製作、試験、仮組、輸送の全プロセスは軌道に乗っています。トカマク組立の完了は2020年3月となります。ファーストプラズマは、2020年夏頃と見込まれています。

運営委員会は、六ヶ所核融合研究所の欧州研究者、技術者及びその家族への高水準の生活支援及び教育支援に対して、青森県及び六ヶ所村による多大な努力に、感謝の意を表明しました。

次回会合は、2017年12月13日にベルギー・モルにて開催される予定です。

2. ITER遠隔実験センター (青森県六ヶ所村) にて遠隔実験を実証

六ヶ所核融合研究所では、BA活動に基づく国際核融合エネルギー研究センター (以下 IFERC) 事業のITER遠隔実験センター (以下 REC) 活動を進めております。この度、RECの中心となる設備である遠隔実験室の整備が終わり、遠隔実験を行う仕組みのソフトウェアや遠隔



図1 第20回BA運営委員会の出席者。

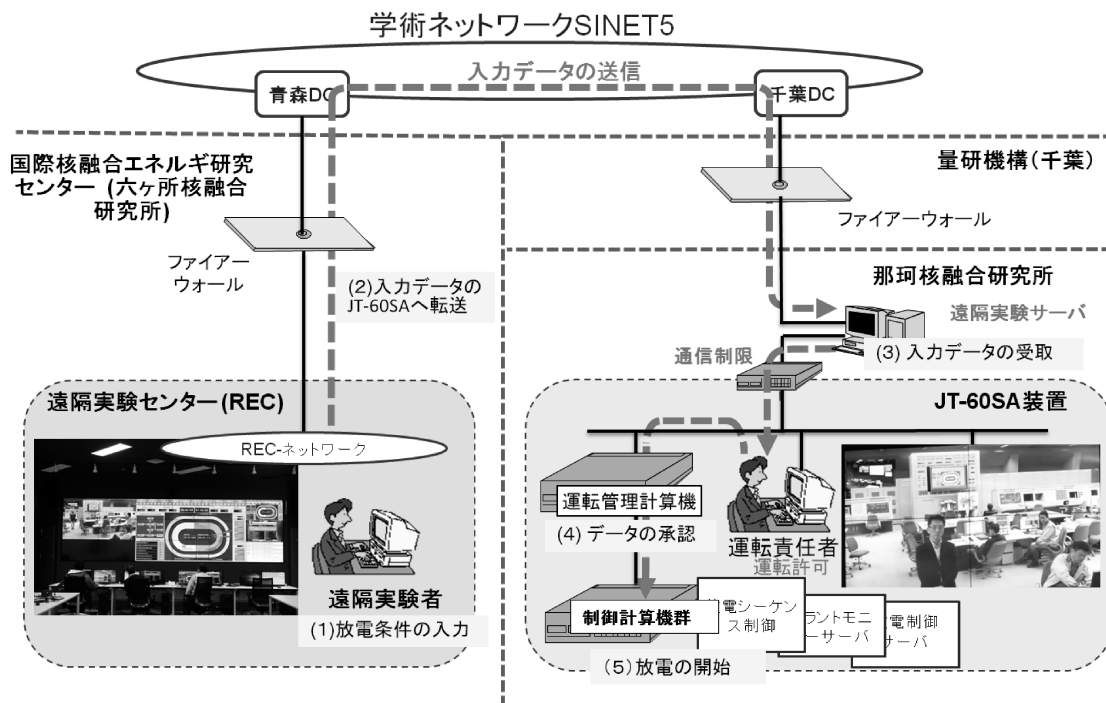


図 2 遠隔実験の流れ.

データ解析のソフトウェア開発が一段落いたしました。ここまでの成果を元に、2017 年 4 月 27 日に JT-60SA を用いて遠隔実験を行い、技術的に実行可能であることを確認する実証試験を実施しました。

この実証は、遠隔実験室（青森県六ヶ所村）から那珂核融合研究所（茨城県那珂市）に建設中の JT-60SA を専用ネットワークにより結び、図 2 に示します遠隔実験の技術的実証を行ったもので、JT-60SA 装置の制御システムの一部と制御模擬シーケンスを使って初めて実現したものです。当該実証では、初めに不正なネットワーク侵入を防ぐため、REC のサーバと遠隔実験サーバ（那珂核融合研究所）とのセキュアな通信を確立しました。通信確立後、(1) REC にて、実験の放電条件を入力し、(2) 続いて、入力した放電条件データの保存及び JT-60SA へ転送を行いました。(3) JT-60SA では、転送された放電条件の入力データを遠隔実験サーバで受取り、(4) 実験及び運転の責任者等による内容の確認・承認の後、(5) 放電シーケンスを開始する実証試験を行いました。

遠隔で作られた放電条件によって、放電シーケンスが正常に動作することが確認でき、遠隔地（REC）においても、オンサイト（JT-60SA）の実験及び施設の状況を把握することができました（図 3 参照）。実際のプラズマ実験では、実験計測器が動作し、実験結果の収集・保管が行われ、それらのデータ解析が遠隔地からも可能となります。

これにより、ITER の遠隔実験参加に向けて、REC を拠点として、日本国内の研究者が、ITER サイトと同様に実験参加できる技術的な 1 ステップが得られました。今後は、さらに実証を深め、欧州のトカマク装置である WEST



図 3 遠隔実験室（青森県六ヶ所村）から JT-60SA（茨城県那珂市）への遠隔実験を実施している様子。那珂核融合研究所との TV 会議（左）、制御シーケンス及び施設のモニター（中央）、放電スケジュール等の表示（右）。

装置と 2017 年秋に、JET 装置と来年 2018 年に遠隔実験を予定しております。

3. サテライト・トカマク（JT-60SA）計画の進展

那珂核融合研究所では、欧州調達の超伝導コイル用電源機器の据付調整と日本側の既存設備の整備が順調に進んでいます。JT-60SA では、既存のフライホイール付き電動発電機（H-MG）から、欧州調達の直流電源（サイリスタ整流器）を介して、中心ソレノイド及び平衡磁場コイルに給電します。2016 年 6 月に搬入されたフランス調達の 4 ユニットの平衡磁場コイル用直流電源は据付作業が完了し、本年 5 月から 7 月にかけて実施予定の通電試験の準備を進めています（図 4）。これらの作業は、



図4 平衡磁場コイル用直流電源の通電試験に向けた準備。



図6 中心ソレノイド用及び高速位置制御コイル用直流電源の横浜港での立会検査。



図5 フライホイール付き電動発電機（H-MG）のオーバーホール（固定子の引き抜き作業）。



図7 受入試験を完了した中心ソレノイド用スイッチングネットワークユニット（SNU-CS）。

欧州機器の調達を取りまとめるITER及び核融合エネルギーの開発のための欧州連合同事業（F4E）及びフランスの原子力・代替エネルギー庁（CEA）監督のもとで、製作元であるスペインJema社の指導員と国内の下請け業者により実施されています。通電試験では、既存設備の常伝導模擬負荷コイルを用いて直流電源の定格である20 kA通電での健全性を確認します。日本側の整備では、2015年10月より開始したH-MGのオーバーホール（図5）と周辺設備の点検整備を本年3月に終了し、動特性回転試験及び励磁試験に成功しました。4月には欧州側スタッフとの協力のもと、通電試験の前段階として、H-MGから直流電源への受電試験を実施しています。

また、残りの電源機器の調達も並行して進んでおり、本年3月にはイタリア新技術・エネルギー・持続的経済開発機構（ENEA）調達分の中心ソレノイド用及び高速位置制御コイル用の直流電源と変圧器が、それぞれ2ユニット到着しました（図6）。同じくイタリアENEAが調

達した中心ソレノイド用プラズマ着火用高電圧発生回路（スイッチングネットワークユニット（SNU-CS）と呼ばれる）の受入試験を本年3月に完了しました（図7）。JT-60SAの中心ソレノイドでは、直流電源と直列にSNU-CSが接続されます。20 kAの初期励磁の後にSNU-CSが動作し、内部の抵抗器に電流が流れると、抵抗での電圧降下の分だけ最大5 kVの逆起電力が中心ソレノイドに誘導され、プラズマ着火に必要な周回電圧が発生します。受入試験では、F4E及び製作元のイタリアOCCEM社と量研機構の職員により、仮設の直流電源と模擬負荷コイルを用いて5 kV誘起における健全性を確認できました。

以上のように、欧州との密接な協力体制のもと、据付調整作業が順調に進展しており、今後は欧州機器と日本側設備を組み合わせた通電試験が本格化していきます。

（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）

幅広いアプローチ活動だより (68)

1. BA 原型炉設計活動におけるタスク会合の開催

幅広いアプローチ活動 (BA) の IFERC 事業の一つである原型炉設計活動 (DDA) の実施のため、第 28 回原型炉設計活動タスク会合が 6 月 20 ~ 22 日にマックスプランク・プラズマ物理研究所 (ドイツ) で開催されました (図 1 参照)。遠隔参加を含め日本側から 11 名、欧州側から 14 名 (合計 25 名) が参加しました。

DDA 活動では、2015 年以後の日欧の原型炉設計活動の進展をまとめて本年 2 月に第 2 中間報告書を完成しましたが、今回の会合では、2019 年までの原型炉設計活動の延長期間中に実施する研究項目について日欧から具体的な提案が出されました。今後は、最終報告書に向けて日欧共通の設計要求および設計制約・条件等を明確にして、総合的および合理的な原型炉概念をめざした設計研究が進められます。また、日欧共通の検討課題として、日本側からは、(1) 原型炉プラントにおける熱利用効率の高い発電を行うため異なる冷却システムの合理化とプラズマ運転開始・停止時における発電タービンの運転方法の提案、(2) 熱間等方圧加圧 (HIP: Hot Isostatic Pressing) 接合法による原型炉ブランケットモジュールの製作手法の提案、(3) 原型炉におけるプラズマディスラプションのモデル検討の現状について、初めての報告が行われ、EU 側参加者から注目を集めるとともに、技術的課題やその解決策について意見交換が行われました。

今回のタスク会合 (第 29 回) は 11 月 29 ~ 30 日に同じマックスプランク・プラズマ物理研究所にて開催予定です。

2. サテライト・トカマク (JT-60SA) 計画の進展

那珂核融合研究所では、今年 5 月 22 ~ 26 日に第 6 回「JT-60SA 日欧研究調整会議」を開催しました (図 2 参照)。本会議は、JT-60SA の研究計画を策定するとともに、JT-60SA に関する日欧共同研究の議論及び情報交換の場となっています。今回は、欧州研究者 18 名 (6 カ国, 11 研究機関)、国内大学等 7 名 (5 機関)、及び量研機構 24 名、プロジェクトチーム 2 名の合計 51 名の研究者が参加し、ITER 及び原型炉での課題を共有するとともに、その課題解決に向けた求心的な議論が行われました。議論の時間を多くとることで日欧の意見交換が活発になされ、大学の先生も共同研究に関する分科セッションに参加されるなど、より密な協力関係を築くことができました。会合では次のような議論が行われ、合意がなされました。今回、特に JT-60SA リサーチプラン 4.0 版 (平成 30 年 3 月予定) の改訂に向けて、Initial Research Phase での大目標を同意するとともに、研究項目の優先順位やカーボン壁からタングステン壁への移行戦略について議論しました。この他、リサーチプランに関して、プラズマ・モデリン



図 1 第 28 回 BA 原型炉設計活動タスク会合での発表と意見交換の様子。

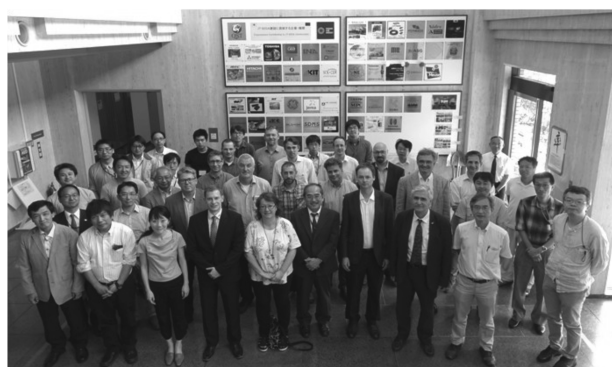


図 2 第 6 回 JT-60SA 研究調整会議(RCM-6)の参加者。

グ、ディスラプション緩和検討、燃料供給検討、計測器検討などの進捗の報告があり、関連して、ITER 機構からも、最近改訂された ITER 計画の説明と、JT-60SA に期待される MHD 安定化やディスラプション緩和などの R&D が提案されました。これらを受けて、今後の活動予定の議論を行いました。計測器の分野では本会議で推進してきた欧州による可視カメラ計測器が、概念設計から実施設計に移行する成果が得られました。さらに、ファーストプラズマまでのリサーチプラン活動の長期計画を議論し、2017 年はプラズマ・モデリングや実験に必要な機器の検討の継続、JT-60SA に向けた他装置での実験実施、リサーチプランの 4.0 版策定の継続について同意しました。加えて、論文執筆の報告と議論を行いました。活発な活動の成果として 2016 年は日欧合わせて発表件数 42 件ありました。2017 年は 46 件の発表を予定しています。次の第 7 回会議は来年 5 月中旬に予定しています。

(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)

幅広いアプローチ活動だより (69)

1. IFMIF/EVEDA 原型加速器高周波四重極加速器への 8 系統 RF 同時・同期入射を世界で初めて達成

六ヶ所核融合研究所では日欧共同事業として IFMIF (国際核融合材料照射施設) 原型加速器の研究開発を進めています。

IFMIF 原型加速器は、IFMIF の原理実証を目的として、大電流 (125 mA) の重水素イオンビームを 9 メガ電子ボルトまでの加速を目指した世界でも最大級の大電力加速器です。

QST と欧州チームが合同チームを作り、日本のリーダーシップの下、据付調整試験を進めてきました。大電流の重水素ビームを安定して加速するための鍵となる高周波四重極線形加速器 (RFQ) は、イタリア国立核物理学研究所 (INFN) レニャーロ研究所が製作を担当し、日欧共同で高周波特性試験、真空システムや冷却システム、制御システムの整備や動作試験を、2017 年 6 月下旬までに完了させました (図 1 参照)。

また、イオン加速のためのパワー源となる高周波源システムは、スペインエネルギー環境技術センター (CIEMAT) のスタッフと共に試験を進め、定格 200 kW 出力、連続動作 (CW) のパワー試験を 8 系統すべて完了させた後、高周波源から RFQ へパワー伝送する導波管 8 系統の据付調整を行い、7 月から RFQ への高周波入射調整試験を開始しました (図 2 参照)。高周波源システムの調整の結果、8 系統の高周波パワーを RFQ へ同時に入射し、かつナノ秒レベルで位相同期させることを世界で初めて達成しました。現在、RFQ への入射電力を上げる RF コンディショニングを行っており、2018 年からビーム加速試験を行う予定です。

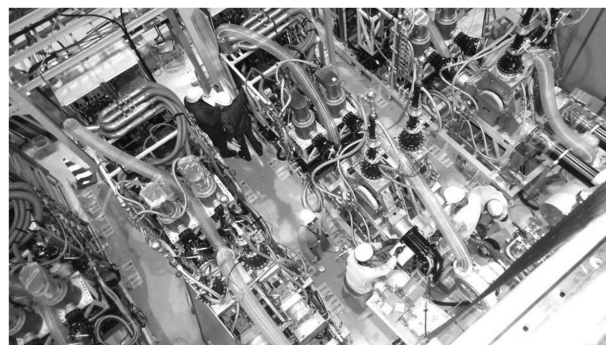


図 2 六ヶ所核融合研究所に据え付けた高周波源システムは、日欧共同で 200 kW 出力、連続動作 (CW) までのパワー試験を順次進め、高周波源 8 系統の調整試験を完了し、RFQ 空洞への高周波入射を開始した。(加速器棟の電源室にて)

2. サテライト・トカマク (JT-60SA) 計画の進展

JT-60SA では、閉じ込め磁場を長時間発生させるために超伝導コイルを採用しています。この超伝導コイルの冷却システムの負荷を抑え、経済的な運転を行うため、超伝導コイルを周りの高温 (室温ですら高温) 環境から隔離する機構が必要になります。そのために設けるのが、サーマルシールドと真空断熱を利用するクライオスタットです。クライオスタットは JT-60SA の全ての超伝導コイルを覆うため、加熱機器以外の全体を覆う非常に大きな真空機器となります。

クライオスタットは、底部、胴部及び上蓋部で構成されています。この内、底部と胴部の製作は欧州・スペインの CIEMAT 研究所が担当しています。底部は、JT-60SA のトーラスホールに最初の構造物として 2013 年 3 月に据え付けられました。8 月現在、クライオスタット胴部が

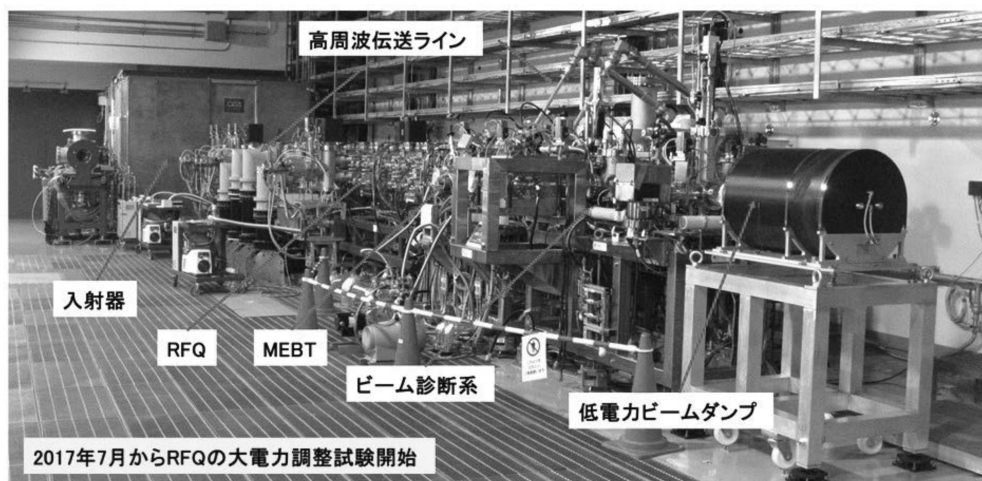


図 1 入射器、RFQ、MEBT、ビーム診断系、低電力ビームダンプ、高周波伝送ラインが加速器室に据え付けられた。



図3 仮組みされたクライオスタット胴部の全容.

製作の最終段階を迎えており、工場で製作精度の確認を実施しています。

8分割された胴部下部及び4分割された上部をそれぞれ組み立てた後、上部を下部にのせ、全体を仮組みし、図3のように高さ約11m、直径約14mの巨大な全容が

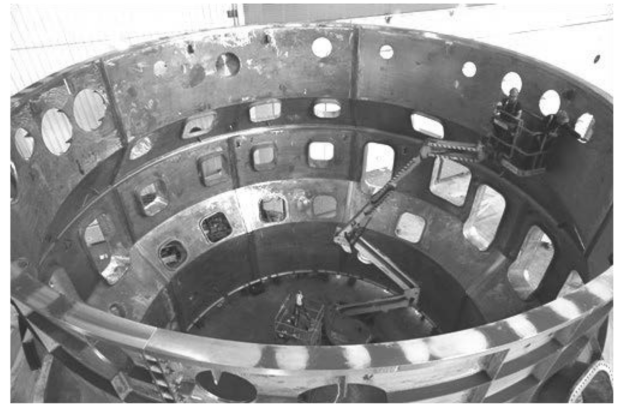


図4 クライオスタット胴部の寸法測定の様子.

現れました。そして、レーザートラッカー計測器などを用いて、製作精度が設計許容範囲（例えば直径フランジ部にて5mm以下）に入っているか計測中です（図4参照）。

その後、仕上げ加工を行い、9月末に製作を完了し、輸送中に歪むことがないよう特殊な治具を取り付け、10月に日本に向けて、出荷予定です。

（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）

幅広いアプローチ活動だより (70)

1. IFMIF/EVEDA 原型加速器の入射器から低出力ビームダンプまでのビームラインを接続し、高周波四重極加速器の本格的なRFコンディショニングを開始

六ヶ所核融合研究所では日欧共同事業として IFMIF (国際核融合材料照射施設) 原型加速器の研究開発を進めています。

IFMIF 原型加速器は、IFMIF の原理実証を目的として、大電流 (125 mA) の重水素イオンビームを 9 メガ電子ボルトまでの加速を目指した世界でも最大級の大電力加速器です。

QST と欧州チームが合同チームを作り、日本のリーダーシップの下、据付調整試験を進め、前回の BA だよりで紹介したように 7 月から高周波四重極線形加速器 (RFQ) への高周波入射調整試験を開始しました。9 月の 1 ヶ月間は機器のメンテナンス等のため試験を一時的に休止しましたが、10 月には原型加速器の最上流側である重陽子ビームを発生させる入射器 (フランス CEA サクレイ研究所担当、イオン源、加速電極、低エネルギービーム輸送系で構成される)、RFQ (イタリア国立原子核研究所担当)、中間エネルギービーム輸送系 (スペイン CIEMAT 担当)、ビーム診断系 (スペイン CIEMAT 担当)、低出力ビームダンプ (イタリア国立原子核研究所担当) までの 5 メガ電子ボルトまでの加速試験に必要な機器のビームラインを全て接続完了しました (図 1)。

さらに、10 月からは RFQ の高周波入射調整 (RF コンディショニング) を 24 時間の運転請負及びシフト体制を組んで本格的に開始しました。調整開始に伴い欧州との共同作業による様々な苦労がありますが、日欧で協力し問題解決にあたりながら着実に進めています。現在、RFQ

への入射電力を上げる RF コンディショニングを継続しつつ、イオン源からのビーム調整を行っており、2018 年から RFQ を用いた水素ビーム加速試験を予定しています。

2. サテライト・トカマク (JT-60SA) 計画の進展

トラス状にプラズマを閉じ込めるトカマク型磁場閉じ込め装置において、トロイダル磁場コイルは、最も基本的かつ重要な機器です。

欧州が製作を担当するトロイダル磁場コイルは、約一月に一体のペースで欧州より船便にて日立港に送られ、そこから陸路で那珂核融合研究所に搬入しています。搬入後、輸送に伴う不具合がないことを確認する寸法検査や絶縁検査などの受入検査を実施した後、本体に組み込んでいます。昨年の 12 月から組み込み作業を開始し、現在図 2 のように 12 体のトロイダル磁場コイルを設置しました。

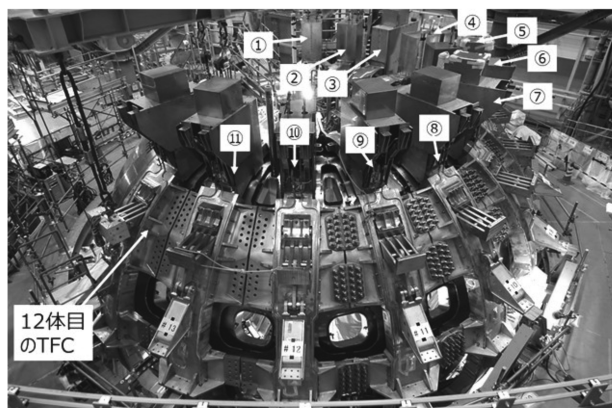


図 2 これまでに 12 体のトロイダル磁場コイルを設置。

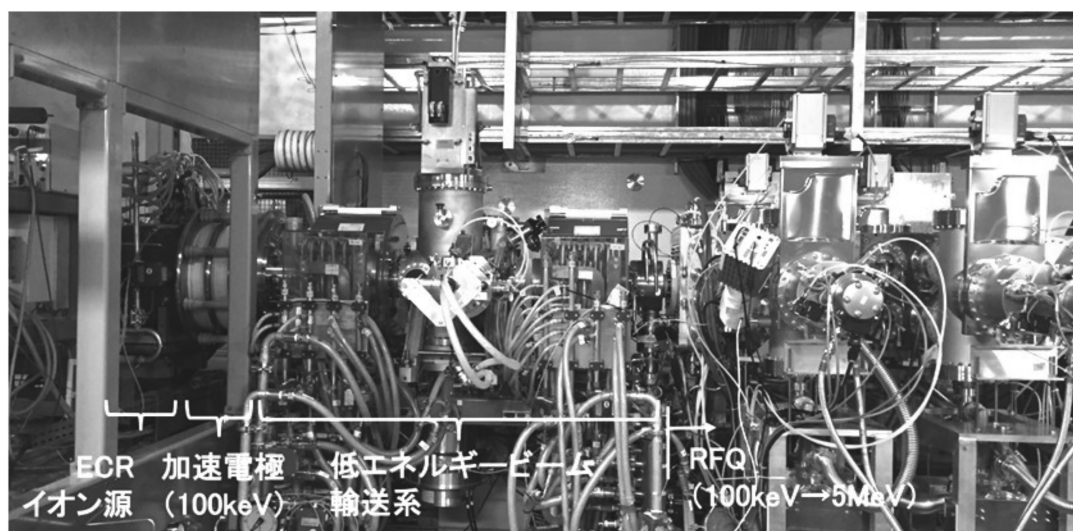


図 1 入射器 (イオン源、加速電極、低エネルギービーム輸送系) と RFQ のビームライン接続の様子。

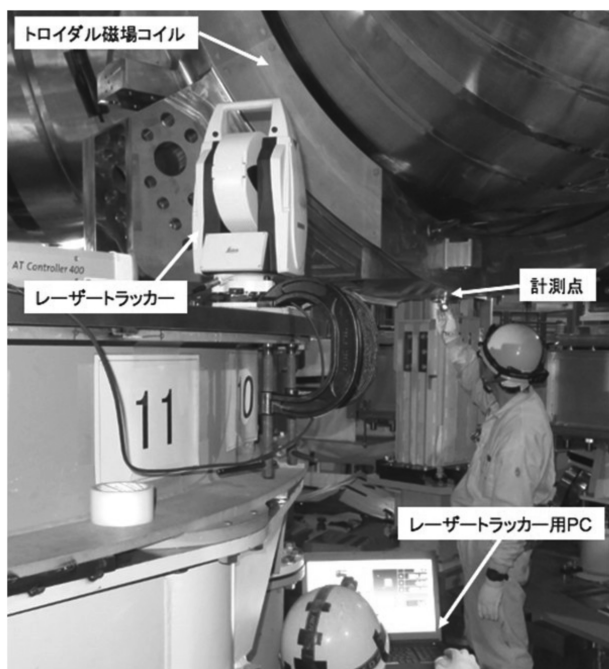


図3 レーザートラッカーを用いた位置決めの様子。

トロイダル磁場コイルが作る磁場はトカマク装置において最大の磁場成分を持つため、プラズマの性能に影響を与える誤差磁場を十分に抑えるように精度良く設置する必要があります。そこで、図3のようにレーザートラッカーを使用して設置を行っています。その結果、 $\pm 1\text{ mm}$ 以下の高い位置精度（トロイダルコイルの高さは約7 m）での設置ができています。

（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）