



### 1. 第17回幅広いアプローチ(BA)運営委員会の開催

2015年12月11日に伊バドヴァ市 RFX コンソーシアムにおいて、第17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4名と専門家12名、日本側から板倉文部科学省大臣官房審議官(日本代表団長)を含め委員4名と専門家12名、各事業長及び各事業委員会議長他の計41名が参加し、3事業の2016年作業計画の承認並びに IFMIF/EVEDA 事業及び IFERC 事業の事業計画の更新を承認しました。

IFMIF/EVEDA 事業に関しては、BR2炉での照射試験を含む試験設備の実証活動が成功裏に任務を完了したこと、線形 IFMIF 原型加速器(LIPAc)の入射器の試運転は要求性能達成に向け成功裏に継続されることが報告されました。LIPAc の実証目標を完全に完了するため、運営委員会は本事業の2019年末までの延長を承認しました。

IFERC 事業に関しては、高い稼働率と利用率が維持されているスーパーコンピューターシステム・ヘリオス(六ちゃん)を用い、2012年以降欧州と日本の研究者により約450編の核融合エネルギー分野の学术论文が刊行されたこと、原型炉設計活動における日欧協力活動と安全性研究、及び原型炉 R&D における5大タスクは順調に進捗していることが報告されました。運営委員会はサイト活動を含む IFERC 事業についても、2019年末までの延長を承認しました。

サテライト・トカマク計画事業については、2019年のファーストプラズマに向け、全ての機器及びシステムの調達、組立が順調に進捗していることが報告されました。これには、トロイダル磁場、平衡磁場、センターソレノイドの各超伝導コイルの製作、冷凍設備の据付及び搬入、クエンチ保護回路機器の据付と調整運転、クライオスタット

ベース上に340度のトーラスを形成する9つの真空容器セクターの溶接の完了が含まれます。

運営委員会は、青森県と六ヶ所村による欧州研究者及びその家族に対する高水準の生活支援及び教育支援の提供のための多大な努力に対し感謝の意を表明しました。

次回会合は、2016年4月22日に青森県六ヶ所村で開催される予定です。

### 2. 第5回 IFERC-CSC 研究会を開催

2016年1月14日~15日の2日間、東京の航空会館で第5回 IFERC-CSC 研究会が開催されました(IFERC: 国際核融合エネルギー研究センター, CSC: 計算機シミュレーションセンター)。本研究会は、CSC 活動を開始した2012年から毎年1回開催され、CSC を利用している国内の研究者が参加し、各研究プロジェクトの成果報告と CSC に関する意見交換を行っています(図2参照)。



図2 CSC スパコンを利用した研究成果の報告の様子。



図1 第17回 BA 運営委員会の出席者(12月11日, RFX コンソーシアムにて)。

今回は43名の国内研究者（各プロジェクトの研究代表者）が参加し、工学関連2件、周辺プラズマ・材料関連10件、MHD関連6件、コード開発関連5件、輸送関連9件、加熱・高エネルギー関連6件、計38件の研究発表が行われました。2014年の2月から運用を開始したCSCスーパーコンピュータの増強システムの利用に関連した研究報告も行われるとともに、2016年2月から運用開始を予定している増強システム第2弾（Nvidia GPU K80）に関するアナウンスが行われ、利用に関する質疑応答も行われました。

### 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、一昨年2014年5月から開始したJT-60SA 真空容器の340度組立作業が昨年2015年8月に完了しています。今回、真空容器サーマルシールド(VVTS)およびトロイダル磁場コイル(TFC)を廻し込むために確保してある真空容器の最終20度セクターを仮合わせし、位置計測を行いました(図3参照)。

JT-60SAの組立では、18個あるTFCのうち17個分を設置したあと、18個目のTFC、VVTSそして真空容器20度セクターを三位一体とした最終セクターとして挿入し接続します。最終セクターの両端は、幅70~110mmのスプライスプレートを通じて、真空容器340度分と溶接接続します。ま

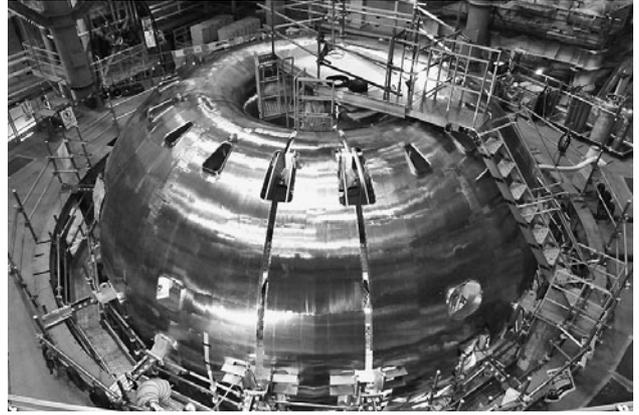


図3 真空容器20度セクターを仮合わせし、360度になった真空容器。

た、今回の仮合わせで得られた計測データをスプライスプレートの形状に反映させカスタマイズします。今回は仮合わせですが、真空容器360度分のトーラス形状を垣間見ることができました。今後、組立が進むと、真空容器のみでこのような姿を見ることはできないため貴重な姿と言えます。

(日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門)

## 幅広いアプローチ活動だより(60)

### 1. 第17回 IFMIF/EVEDA 事業委員会の開催

2016年3月14, 15日に六ヶ所核融合研究所において、第17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3名、日本側から高津議長を含めて委員2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7名の計22名が参加しました(図1参照)。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22日に青森県六ヶ所村で開催される第18回 BA 運営委員会に対する技術的な勧告をまとめました。事業の進捗については、以下のとおりです。

IFMIF 原型加速器の実証試験については、昨年7月から入射器の重陽子ビーム試験を開始し、ほぼ当初計画通りの性能を実証しました。原型加速器の高周波四重極加速器については、イタリア INFN レンジャーロ研究所における製作、一部の試験を完了し、2月23日に六ヶ所サイトに搬入されました。また、高周波四重極加速器の実証試験に必要な機器についても順調に製作、試験等が進んでおり、この春から初夏にかけて六ヶ所サイトに搬入される予定です。なお、入射器ではほぼ当初計画通りの性能が得られたこと及び高周波四重極加速器の搬入、据付開始を記念して第18回 BA 運営委員会の開催と合わせ4月21日に式典を開催する予定です。IFMIF の標的設備の実証試験については、イタリア ENEA ベルジモーネ研究所の浸食耐食性試験が昨年11月に開始され、順調に試験が進められていることが報告されました。

次回の事業委員会は2016年10月13, 14日に六ヶ所で開催する予定です。

### 2. 第18回 IFERC 事業委員会が開催

2016年3月14, 15日に東北大学大学院工学研究科において、第18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8名、これに中島事業長及び事業チーム員8名と事務局の計31名が参加しました(一部、ビデオ会議により参加。図2参照)。今回の事業委員会では、主に、2015年の各活動の状況報告、事業延長期間(2017年6月-2019年12月)における IFERC 事業の計画案を審議し、第18回 BA 運営委員会に対する技術的な勧告をまとめました。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の高い稼働率・利用率での運用と優れた学術研究の創出のほか、原型炉の基本概念構築に向け



図2 第18回 IFERC 事業委員会の参加者。



図1 第17回 IFMIF/EVEDA 事業委員会の参加者 (IFMIF/EVEDA 開発試験の高周波源・電源室にて)。

た設計活動、構造材料データベースの構築作業、並びに SiC/SiC 複合材料とリチウム鉛の共存性試験が進展しました。原型炉 R&D のための共同研究棟が 2 月に竣工しました。ITER 遠隔実験センターの遠隔実験室は、整備工事が順調に進捗し、2016 年に完成の見通しです。IFERC 事業は、計算機シミュレーションセンターを除き、2019 年末まで延長になります。この延長期間中の原型炉設計 R&D 及び遠隔実験センターの作業計画案、並びに事業チーム運営の計画案について審議しました。

今回の事業委員会は 2016 年 9 月 27 ~ 29 日に六ヶ所で開催する予定です。

### 3. サテライト・トカマク(JT-60SA)計画の進展

2014 年 5 月に開始した真空容器の接続が 340 度完了したこと、および真空容器サーマルシールドの組立を開始したことなどの JT-60SA 建設の進捗を受け、2 月 3 日に報道機関を対象とした施設見学会を那珂核融合研究所にて開催しました。

今回組立を開始した真空容器サーマルシールドは、JT-60SA の超伝導コイル(中心ソレノイド 1 個、平衡磁場コイル 6 個とトロイダル磁場コイル 18 個)を取り囲むように設置するサーマルシールドのうち、真空容器側に配置するものです(図 3 参照)。超伝導コイルは運転時、極低温(4 K)に冷

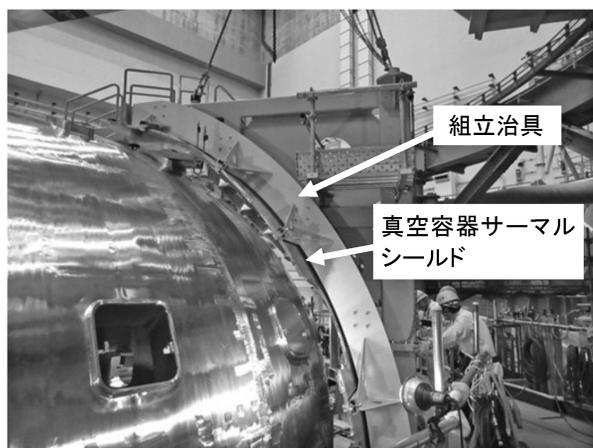


図3 組立を開始した真空容器サーマルシールド。

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。

また今回、真空容器内部の拘束治具を撤去したことにより、真空容器の内部が公開できました。この真空容器内部という巨大な空間では、各報道機関が興味深く撮影している様子が印象的でした(図 4 参照)。この見学会の様子は、6 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4 真空容器内部を撮影する報道機関関係者。

## 幅広いアプローチ活動だより(61)

### 1. 第18回幅広いアプローチ(BA)運営委員会の開催

2016年4月22日に青森県六ヶ所村において、第18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10名、日本側から板倉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21名、各事業長及び各事業委員会議長他4名の計42名が参加し、各事業長から2015年の年次報告を受け事業の進捗を確認するとともに、各事業の事業計画の更新を承認しました。

IFMIF/EVEDA事業に関しては、フランスが供給した入射器の重水素ビームによる試験が進み、目標性能を成功裏に達成したことが報告されました。また、イタリアが供給する高周波四重極加速器やスペインが供給する高周波源システムの据付が六ヶ所で始まっています。これらの特筆すべき成果を祝い、4月21日に日本と、スペイン、フランス、スイス、ベルギー、欧州連合、イタリア、ドイツの代表を含む欧州の要人が参加して記念式典が開催されました。

IFERC事業に関しては、DEMO設計活動の予備概念設計や、DEMO R&D活動での日欧協力が着実に進捗していることが報告されました。また、ヘリオススーパーコンピューターシステム(六ちゃん)を利用したシミュレーション計画は、最終となる第5サイクルが2015年11月以降、高い稼働率(95%以上)と利用率(80%以上)で運用されていることや、遠隔実験センターのためのネットワークと施設整備が進行中であるなど、各研究開発が着実に進捗していることが報告されました。

サテライト・トカマク計画事業については、トロイダル磁場コイル1号機の完成や真空容器の組立の完了など、機器及びシステムの調達、組立が順調に進捗していることが報告されました。また、完成したトロイダル磁場コイルはフランス・サクレーでの低温試験に合格し、那珂核融合研究所への輸送準備が整いまし

た。さらに、JT-60SAリサーチプランが日欧の核融合コミュニティ(15カ国、46研究所)の尽力により、改訂がなされたことが報告されました。

運営委員会は、青森県と六ヶ所村による欧州研究者及びその家族に対する高水準の生活支援及び教育支援の提供のための多大な努力に対し感謝の意を表明しました。

次回会合は、2016年12月14日にスペイン・マドリッドで開催される予定です。

### 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16-20日に第5回「JT-60SA日欧研究調整会議」を開催しました。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20名(5カ国、13研究機関)、国内大学等5名(3機関)、及び量研機構22名以上、プロジェクトチーム2名の合計50名を超える研究者の参加を得て、ITER及び原型炉での課題を共有し、その課題解決に向けた求心的な議論を行いました(図2参照)。今年3月には日欧の原型炉設計例を拡充したJT-60SAリサーチプラン3.3版を刊行しました。本会合では、JT-60SAリサーチプラン3.3版の改訂箇所とその研究内容、及びプラズマ・モデリングや計測器検討などのそれ以外の研究進捗、ディスラプション緩和やHモード遷移などのITERの最重要課題に対するJT-60SAの貢献、共同論文(2015年実績5件、2016



図2 第5回JT-60SA研究調整会議(RCM-5)の参加者。



図1 第18回BA運営委員会の出席者(4月22日、六ヶ所核融合研究所にて)。

年予定 20 件), JT-60SA実験実施体制, 今後の活動予定を議論しました。

ITER機構からは, ITER計画の紹介と, 計測R&Dやディスプレイ緩和など期待するJT-60SAの貢献が提案されました。本会議ではまた, 今まで主に行ってきたプラズマ・モデリングや計測器等の予備調査に加え, 計測器等の共同開発に向けた検討や, JT-60SAに向けた欧州装置 (TCV, WEST等) での実験実施を合意しました。本年度は, リサーチプランのVer.4.0 への改訂 (2017 年末を予定) に向け, 研究項目の優先順位付けやITER計画との整合性の検討, 共同研究を行うこととしました。本会合では, 3 名の大学の先生にJT-60SAに関する研究結果に関して登壇いただき, 議論にも加わっていただくことで, 高い専門性と国内の協力体制を日欧で共有できました。来年 5 月中旬に予定している第 6 回会議にも, 引き続き国内検討代表者と専門家のご登壇・ご参加を賜りたいと考えています。

### 3. IFMIF原型加速器の入射系ビーム加速実験の成功と高周波加速器／高周波源の据付開始を披露する記念式典を開催

「IFMIF原型加速器の入射系ビーム加速実験の成功と高周波加速器／高周波源の据付開始を披露する記念式典」が, IFMIF原型加速器が設置されている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において, 4 月 21 日に開催されました (図 3 参照)。これは, 2007 年に協定が発効した日欧の共同事業である核融合分野における幅広いアプローチ (BA) 活動の 1 つの事業である, 国際核融合炉材料照射施設の工学実証・工学設計活動 (IFMIF/EVEDA) 事業に関するもの

です。量研機構は日本側実施機関として, 六ヶ所核融合研究所でIFMIF原型加速器の工学実証活動を実施しています。

今般, 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) へ入射する重陽子ビームの加速実験の成功 (入射器はフランス原子力・代替エネルギー庁 (CEA) のサクレー研究所が担当) と, 欧州で製作されたRFQや後段の中間エネルギービーム輸送系 (MEBT), ビーム診断系 (D-Plate), そしてRFQに加速用大電力を供給する高周波源の据付開始 (MEBT, D-Plate, 高周波源はスペインエネルギー環境科学技術研究センター (CIEMAT) が担当) を記念して, 駐日スペイン大使など大使館の代表, CEA長官やINFN所長等外国研究機関の長, 欧州実施機関であるF4Eの関係者, 文部科学省等政府関係者, 青森県知事や六ヶ所村長等自治体関係者, 大学, 企業等約 150 名を招いて開催されました。主催者である平野俊雄量研機構理事長の, 「本活動を通じ, この六ヶ所から, 日欧の連携協力の成果として多くの研究成果を世界に向け発信したい」との挨拶をはじめ, 大使館, 自治体, 研究機関の来賓の皆様から祝辞をいただきました。その後, 原型加速器が設置されたIFMIF/EVEDA開発試験棟で設置された機器をバックにしたテーブルカット, 見学会が開催されました。

この式典の様子は, NHK青森放送局や地元の 3 つの新聞で紹介されました。

(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3 主催者挨拶を述べる平野俊雄量研機構理事長 (左上), 記念式典での集合写真 (右上), 加速器室での記念撮影 (左下), 原型加速器をバックにしたテーブルカット (右下)

## 幅広いアプローチ活動だより(62)

### 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26回原型炉設計タスク会合が6月21～23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14名、欧州側から16名(合計30名)が参加しました。日欧共通の検討課題として、ダイバータ形状による非接触ダイバータ生成、第一壁への熱負荷評価、トリチウム増殖とブランケット設計の課題、複数の遠隔保守方式の比較評価と課題、および安全性研究の総括などが報告され、意見交換が行われました。DDAは2017年から2019年までR&Dを含む構成で延長されますが、延長に際しては、前回の中間報告書(2015年2月提出)以降のDDAの進展を2017年初頭に報告書にまとめることが求められており、DDAリーダーの提案に基づき執筆内容と担当者の調整が開始されました。さらに、今回の会合では原型炉開発のためのポストBA活動計画案が日本側から提案され、欧州の参加者からは概ね賛同する意見が聞かれました。次回のタスク会合(第27回)も11月23～25日にマックスプランク研究所で開催の予定です。

### 2. サテライト・トカマク(JT-60SA)計画の進展

#### (1) 真空容器サーマルシールドの組立の進展

那珂核融合研究所では、昨年8月に340度分の接続が完了した真空容器と超伝導コイルの間に熱遮蔽材として配置する真空容器サーマルシールドの組立が進展しています(図2参照)。今回、組立を行っている真空容器サー

マルシールドは、トロイダル方向に、トロイダル磁場コイルと同数の18セクターに分割し、さらに内側と外側に二分割した36体を製作しています。これらを、専用の拘束治具と旋回クレーンを用いて、真空容器の20度分の空間から回しこみ、内側と外側を接続し、さらに隣り合うセクターを接続していきます。接続は、カプラと呼ばれる部品を用いて、組立位置を合わせながら進めています。現時点では、7セクター分の組立が完了しており、今年度予定している欧州製作のトロイダル磁場コイルの組立に向けて、着実に組立を進めています。

#### (2) 欧州製超伝導コイル用直流電源の到着

那珂研では、欧州調達機器の搬入が進んでいます。今年の6月末には、フランスが調達した超伝導コイル用直流電源が那珂研に搬入されました(図3参照)。

今回の搬入された直流電源は、トロイダル磁場コイルと、ポロイダル磁場コイルのうち4つの平衡磁場コイルに接続する合計5ユニットのサイリスタ式直流電源になります。トロイダル磁場コイル用電源は、最大電圧/電流は80V/25.7kAの単極性出力で連続通電が可能です。平衡磁場コイル用電源は、最大電圧/電流は1kV/20kAの両極性出力で、30分おきに220秒の通電が可能です。これらの電源は、クエンチ保護回路を介して、それぞれの超伝導コイルに接続されます。また、平衡磁場コイルはさらに、プラズマ着火時に必要な高電圧を発生させるスイッチングネットワークユニットまたは、ブースター電源が接続されます。これらの搬入を受け、現地据付け作業および受入れに向けた試験が今後実施されます。

(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)



図1 第26回BA原型炉設計活動タスク会合での議論風景。



図2 組立が進展する真空容器サーマルシールド。



図3 那珂研に到着した欧州製超伝導コイル用直流電源。

## 幅広いアプローチ活動だより(63)

### 1. IFMIF原型加速器の据付が進展

～着々と進む加速器本体及び電源系・冷却系の整備～

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(図1参照)。量研機構は、2007年に協定が発効した日欧の共同事業である核融合分野における幅広いアプローチ(BA)活動の1つの事業である、国際核融合炉材料照射施設の工学実証・工学設計活動(IFMIF/EVEDA)事業の日本側実施機関として、六ヶ所核融合研究所でIFMIF原型加速器の工学実証活動を実施しています。

すでに重陽子ビームの加速実験が成功した入射器(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)の据付に加え、本年2月に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)の本体が分割された状態で空輸され、スペインで製作された後段の中間ビーム輸送系(MEBT)とビーム診断系(D-Plate)が4月に船便で到着し、昨年からは高周波源・高圧電源の設置が進められてきました(MEBT, D-Plate, 高周波源はスペインエネルギー環境科学技術研究センター(CIEMAT)が担当)。これらの機器は所定の位置に設置後、電源や信号ケーブルを配線し、冷却水配管やポンプ、高周波用導波管設置の整備が進められています。さらに超伝導ライナック用の液体ヘリウム冷凍機の設置も開始

され、今は実験棟の屋内、屋外とも所狭しと機器が置かれています。六ヶ所に雪が降り始める前に屋外作業を完了させ、電源や冷却水系のチェックアウトをした後に来春からは、加速器のコンディショニングに入る予定です。来年度中には5MeV/125mAの重陽子の加速をめざしています。

### 2. サテライト・トカマク(JT-60SA)計画の進展

#### (1) 欧州製トロイダル磁場コイルの那珂研搬入

那珂核融合研究所では、JT-60SAの建設が進展しています。今回、欧州調達の超伝導トロイダル磁場コイル(TFコイル)を那珂研に搬入しました。

JT-60SAは、18機のTFコイルを有しており、連続通電を可能とする超伝導NbTiを用いて製作しています。これらの製作は欧州が担当(フランスとイタリアで半数ずつ)し、組立は日本が担当しています。今回、欧州調達のTFコイルのうち、フランスが製作を担当している1号機と2号機を、海上輸送を経て到着した日立港から那珂研へそれぞれ7月20日と8月25日に輸送・搬入しました(図2参照)。TFコイルは欧州を発つ時点で、女性名が命名されることになっており、1号機はANNIE(アニー)、2号機はBRIGITTE(ブリジット)となっています。

1号機が搬入された直後の7月26日には、「フランスが調達するJT-60SA機器の搬入、据付、調整運転の着実な進捗を祝う会」を那珂研で開催し、日仏の関係者一同にて、TFコイルの搬入開始を祝いました(図3参照)。

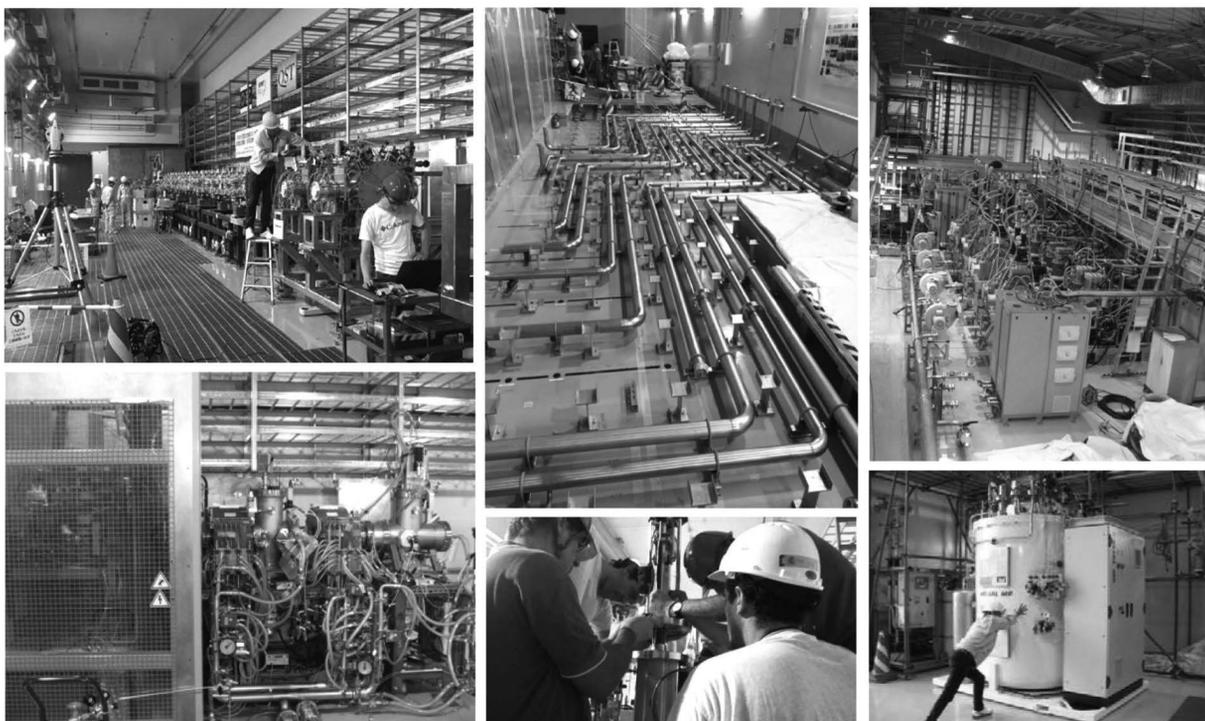


図1 据付が進行中のIFMIF原型加速器本体、電源・高周波源、冷却系、ヘリウム冷凍機など。

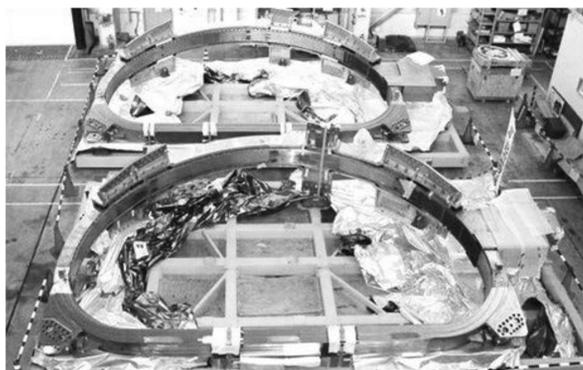


図2 那珂研に搬入された仏調達TFコイル1, 2号機.



図4 TFコイルを取材する報道機関関係者.



図3 仏調達機器の進捗を祝う会にて、TFコイル1号機を前に記念撮影.



図5 製作が完了し組立を待つ上側EFコイル3機.

9月2日には、報道機関を対象としたJT-60SA施設見学会を那珂研で開催し、搬入された2機のTFコイルを公開しました。数mmの精度で製作された数mの巨大なTFコイルを前に各報道機関も興味深く取材していました(図4参照)。この見学会の様子は2つの報道機関で取り上げられました。

搬入されたTFコイルは受け入れ検査後、現在までに340度分の接続が完了している真空容器の20度分の隙間から挿入して回し込み、組み込んでいきます。残りのTFコイルについても順次、海上輸送を経て、那珂研に搬入し、組み立てていきます。

## (2) 平衡磁場コイルの完成

JT-60SAでは18機の超伝導トロイダル磁場コイルを欧州が製作し、6機の超伝導平衡磁場コイル(EFコイル)と1機の超伝導センターソレノイドを日本が製作します。

EFコイルのうち、プラズマの下側に配置される3機(EF4, EF5, EF6)は既に完成し、JT-60本体室にて340度分の接続が完了している真空容器の下側に仮設置しています。今回、残りの上側に設置する3機の平衡磁場コイル(EF1, EF2, EF3)が8月に完成しました(図5参照)。

EF1(外径12.0m, 重量27トン)、EF2(外径9.6m, 重量27トン)、EF3(外径4.4m, 重量21トン)は、那珂研の巻線棟で平成26年7月から製作してきました。特に、EF1はJT-60SAでは最大のコイルになります。これらの大型の超伝導コイルは、製作精度 $\pm 0.2\text{mm}$ 以下と非常に高精度に製作できました。これらのコイルは、TFコイルの組込みが完了し、真空容器の残り20度分の最終セクタが接続された後、組立室へ搬入し、JT-60SAに組み立てる予定です。

(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(64)

### 1. ITERからIFERC事業のITER遠隔実験センター（六ヶ所）へ大量データの高速度転送を実証

2016（平成28）年8月30日から9月5日にかけて、ITERの初期実験で想定される1実験当たり1テラバイト（TB）のデータを、想定される実験間隔内（30分内）で繰り返し安定して送信し、最終的に50時間で105TB（1日当たり50TB）の大量データをフランスのITERサイトから青森県六ヶ所村の遠隔実験センター（図1参照）へ高速転送（毎秒約7.9ギガビット（7.9Gbps））できることを初めて実証しました。これは、大陸間級の長距離サイト間転送量として、世界最大クラスです。

この実証はBA活動に基づく国際核融合エネルギー研究センター（IFERC）事業のITER遠隔実験センター（以下REC）副事業として実施しました。量研機構は国内研究機関（核融合科学研究所、情報学研究所）及びITER機構と共同し、南フランスに建設中のITERのサイト及び青森県六ヶ所村のIFERC事業で整備中のREC間を広帯域の専用ネットワークで結びました。即ち、RECから最寄りの学術ネットワークSINET5のデータセンターへ接続し（10Gbps）、本年4月から始まったSINET5の新設の欧州（ロ

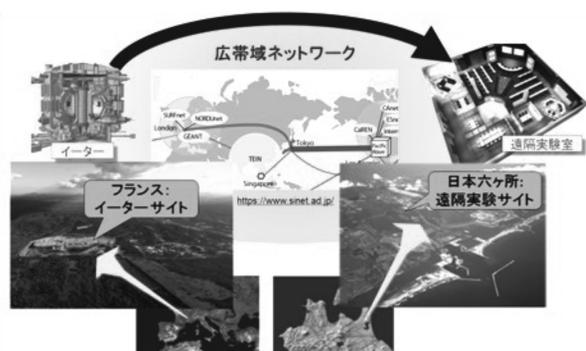


図1 遠隔実験センター概念図。

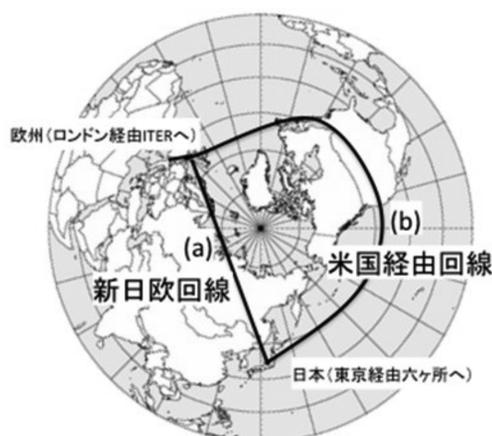


図2 SINETの新日欧回線(a)では遅延時間が従来の米国経由(b)に較べ約2/3となる200ミリ秒未満に短縮された。

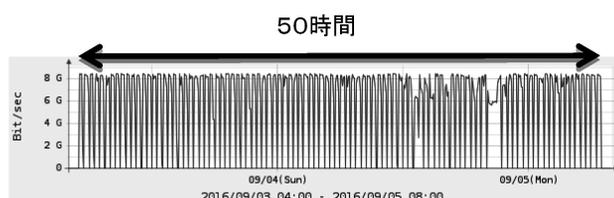


図3 ITERから遠隔センター（六ヶ所）へ高速転送速度（最大約7.9 Gbps）で30分毎にデータ（1.05 TB）を送信し、50時間で105 TBの大量データを一対一のサーバ間で転送。

ンドン）への直通の広帯域回線（20 Gbps）によって、欧州と短い通信距離で結びました（図2参照）。さらに、欧州及びフランスの学術ネットワーク運用者GÉANT・RENATERの協力を得て、RECからITERまで専用の閉領域ネットワーク（L2VPN）で構築することができました。これにより、高いセキュリティーを保ったまま、安定した広帯域のネットワークを構築できました。

TCP転送プロトコルは、パケット送信毎に正しく送れた事の確認の返事を受け取ることにより、通信の信頼性を確保していますが、一つのパケット送信から確認の受け取りまでに時間（日欧間では約200ms）を要するため、長距離間の大量のデータ送信には、長時間を要していました。そこで、情報研との協力により、同時に多数の通信を行う、世界最速レベルの超高速ファイル転送プロトコル（MMCFTP）を核融合分野に応用しました。その結果、利用可能な通信容量の最大限まで利用でき、ITERで想定される実験間隔内で、全ての実験データ（1TB）のデータ転送が可能となりました（図3参照）。

これにより、日本国内の研究者は、六ヶ所村の遠隔実験センターを拠点として、ITERの全データの参照及び解析を可能となるような、遠隔実験参加の実現に向けた大きなステップとなりました。

### 2. サテライト・トカマク（JT-60SA）計画の進展

日本が製作を担当している中心ソレノイド(CS)のCS1モジュールがこの度完成し、冷却・通電試験を実施するために核融合科学研究所（岐阜県土岐市）への輸送と搬入が完了しました。

CSはトカマクプラズマ中に電流を誘導するための電磁コイルで、JT-60SAのCSは全部で4個のCSモジュールから構成されています。CS1号機(CS1モジュール)は三菱電機(株)電力システム製作所(神戸市)で製作されていましたが、9月30日に完成、共同研究による冷却・通電試験を実施するため、核融合科学研究所への輸送と搬入を行いました（図4）。

CS1モジュールは重量約19トン、高さ約1.6m、直径約2.0mの超伝導コイルです。4個のCSモジュールに20kAを通電することにより最大9Tの磁場を発生しますが、このような高磁場での運転のため、CSにはニオブスズ

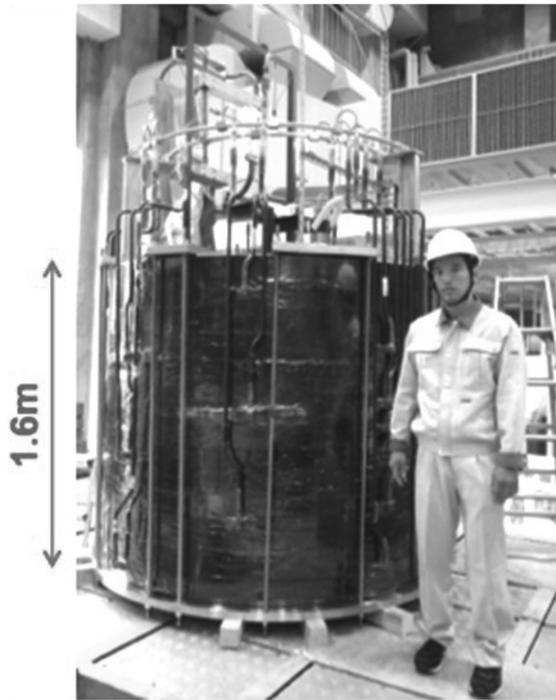


図4 核融合科学研究所に輸送したCS1モジュール.

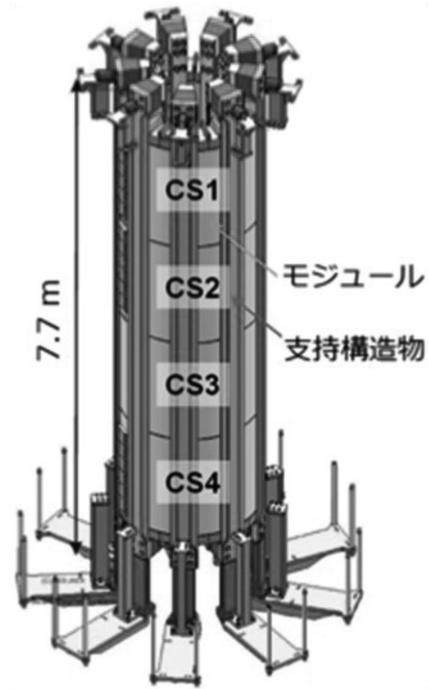


図6 一体化したCS.

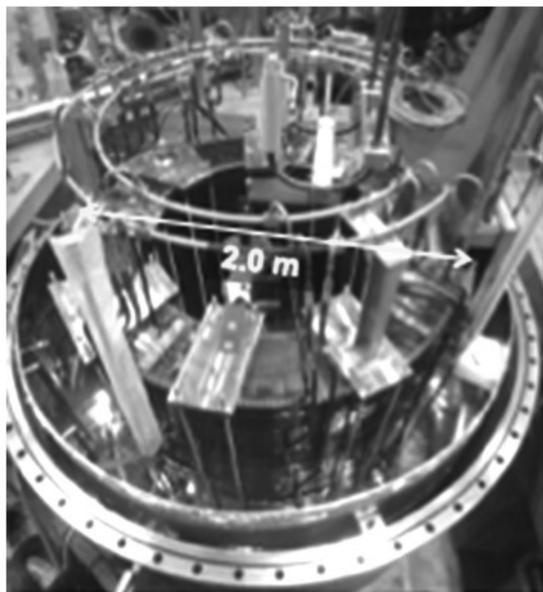


図5 クライオスタットに設置したCS1モジュール.

( $Nb_3Sn$ )の超伝導導体を用いています。しかし、ニオブスズは非常に脆く変形により超伝導特性を失うため、ニオブスズ導体を曲げてコイルに成形することはできません。

そこで、ニオブとスズを化合する前に所定の形状に成形し、その後熱処理を実施して超伝導体であるニオブスズを生成します。加えて熱処理後に行う電気絶縁処理は導体に過度な変形を加えずに実施しなければなりません。また、プラズマを精密に制御するためには、CSを直径2mに対し半径の誤差が4mm以内の真円度で製作する必要があります。このように、CS製作にはニオブスズ導体を扱う特有の高い技術力に加えて、高精度でコイルを製作する方法の開発が要求されました。

完成したCS1モジュールには核融合科学研究所との共同研究による通電試験を実施します。CS1モジュールを超伝導状態にするため $-269^{\circ}C$ 程度に冷却し通電を行います。図5が断熱容器(クライオスタット)に設置したCS1モジュールの写真です。本試験装置を用いて、超伝導状態が壊れて常伝導状態になる温度の確認試験や、磁場の変化による発熱の評価試験を行い、製作したCS1モジュールがJT-60SAのプラズマ運転に必要な性能を満たすことを確認します。

今後、CS2,3,4モジュールを製作し、4個のモジュールを積み重ね、支持構造物で一体化(図6)してCSの製作を完了し、JT-60SA本体に据え付けます。

(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)