インフォメーション

ITERだより（91）

1. 第29回 ITER 理事会が開催

2021年11月17日，18日にITER理事会は遠隔ビデオ会議により第29回会合を開催し，ITER計画の最新の進捗報告と実績指標の評価を行った．プロジェクトは加盟極による機器納入のための最善の努力と，作業サイトにおける据付・組立作業により着実な進捗を継続している．技術的困難と進行中の感染拡大の影響が緊密に監視されており，プロジェクトを進展させるための策が継続して留意されている．加盟極から納入された機器の組立・据付作業を行ったこの2年間の過程において，豊富な経験が得られたことから，理事会は，ITER機構に対し，2022年6月の次回理事会で検討するために最新のベースラインの更新案を準備するよう要請した．

ITER理事会では，以下についての報告・議論が行われた．

- 理事会は，主要機器の納入の継続と装置組立の進捗を含む，2021年6月の前回の理事会以降の重要なプロジェクトの成果を感謝しつつ留意した．
  - ➢ ITERの超伝導磁石で2番目となる超伝導ポロイダル磁場（PF）コイル#5がトカマクピットに据付けられた．また，残りのPFコイルの製作も着実に進捗している．
  - ➢ 最初の真空容器セクターの組立は，2機の超伝導トロイダル磁場（TF）コイルとサーマルシールドの部品を組み込みつつ完了間近であり，トカマクピットへの最初の据付準備が進んでいる．
  - ➢ 現在，2番目の真空容器セクター，最初の2機の超伝導中心ソレノイドモジュール，8機のTFコイルがITERサイトに到着しており，さらに4機のTFコイルが輸送中である．
  - ➢ ITERサイトでは，クライオスタット上蓋の全12セクターの組立・溶接が進捗している．
  - ➢ その他の主要機器の製作が加盟極の企業で進展中である．
  - ➢ 冷却塔，無効電力補償装置，高周波フィルタリングが完成し，プラントシステムに重要な進捗があった．
- 理事会は，ITER機構及び協力するパートナーが，感染拡大による前例のないプレッシャーとITERのいくつかの初物機器製作における困難に直面していることに留意した．理事会は，全ての加盟極に対し，建設戦略をスケジュールどおり成功裏に実行するために，物納及び現金貢献のコミットメントを果たすよう奨励した．理事会は，ITER機構及び協力するパートナーに対し，現在計画されているとおり2035年の核融合運転を達成するためにあらゆる可能な努力を行うよう要請した．
- 理事会メンバーは，ITERの使命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ため，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．また，理事会は，プロジェクトを成功に導くために効果的な協働にコミットしている「One-ITER」チームの取組を賞賛した．理事会は，プロジェクトの実績を引き続き綿密に注視し，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. トロイダル磁場コイル6機目（TF16）が出荷

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いる．そのうちの5機は，三菱重工業（株）と三菱電機（株）の協力体制で製作を進め，4機を東芝エネルギーシステムズ（株）が製作している．既に9機中5機がITERサイトに納入され，この度，通算6機目となるTFコイル（TF16）*が工場より出荷された（**図1**，**図2**）．このTFコイルは東芝エネルギーシステムズ（株）が製作した2機目のTFコイルである．

TFコイルの製作は110トンの巻線部（WP）をステンレス鋼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，コイル容器の最終機械加工を経て，完了となる．TF16では，これまでと同

図1　出荷前の記念写真TFコイル（TF16）．

図2　吊り上げ中のTFコイル（TF16）．

様に新型コロナウイルス禍中での製作であったが，東芝エネルギーシステムズ(株)における初号機製作で得た経験や知見を活かし，高精度かつ高効率の最終機械加工工程を確立して，コロナ禍においてもスケジュール通りに製作を進めた．また，1社のみで製作することによる一貫した品質管理体制によって，TFコイルの厳しい要求製作精度を達成して，TF16を完成させた．

TF16は，12月に横浜港を出発し，フランスのITER機構に向けて輸送される予定である．

＊：（ ）内は，ITER機構でのTFコイル番号

3. ITERサイトでのITER組立進捗状況

全9セクターの内一つ目のサブセクター(セクター6)組立がSSAT（Sector Sub-Assembly Tool:40° セクターを組み上げる巨大なやぐら）上で完了した（**図3**）．サブセクターは40° 真空容器，サーマルシールド，TFコイル2機から構成され，真空容器に合わせてサーマルシールドとTFコイルの位置を調整している．特にTFコイルは±1㎜と厳しい精度が要求され，予定されていたコイル間支持構造物の組立後においても要求精度を達成し，サブセクター組立が完了した．現在，ピットへ移動するための準備が急ピッチで行われている．SSATからピットへ移動させるには，吊り具を合わせて約1350トンになる重量物を吊り上げるための特殊なジグとこのために用意された750トン天井クレーン2機を同時に使用する．また，ピットへの搬入には正確な位置に設置する必要があるため，この位置合わせも同時に行わなければならない．これらは初めての作業となるため入念な準備が行われている．

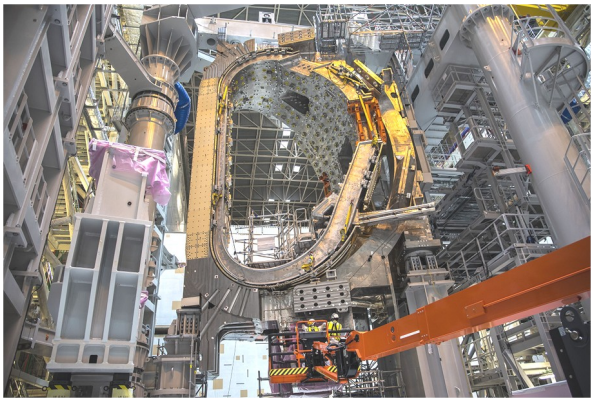


図3 サブセクター#6の組立完了．

また，11月には日本からTFコイルが2機到着した．東芝製初号機と三菱製4号機のTFコイルで，2機とも同じ船で日本からフランスのマルセイユ港に運ばれ，SPMT（Self-Propelled Modular Transfer）と呼ばれる特殊車両によってそれぞれ一週間をかけて陸送された（**図4**）．東芝製TFコイルは11月19日，三菱製TFコイルは11月27日に無事ITERサイトに到着し受入検査を終えた（**図5**）．これでITERサイトにはTFコイル全18機のうち10機（日本5機，EU5機）が到着したことになる．次のサブセクター組立準備も順調に進んでおり，ITERサイトでは着々と組立作業が行われている．

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とITER計画への理解，ITER機構職員募集を促進するための広報活動を行っている．

10月29日に那珂市立木崎小学校において，3年生から6年生44名に対して出張授業を行った．3つのブースに分けて，真空実験，ミニロボットアーム操縦，偏光板万華鏡づくりを行い，実験結果の予測や比較をしてもらい

図4 東芝製初号機のマルセイユからの陸送風景．赤い車両がSPMT．

図5 TFコイル2機のITERサイト受入完了．東芝製初号機TFコイル（左）と三菱製4号機（右）．

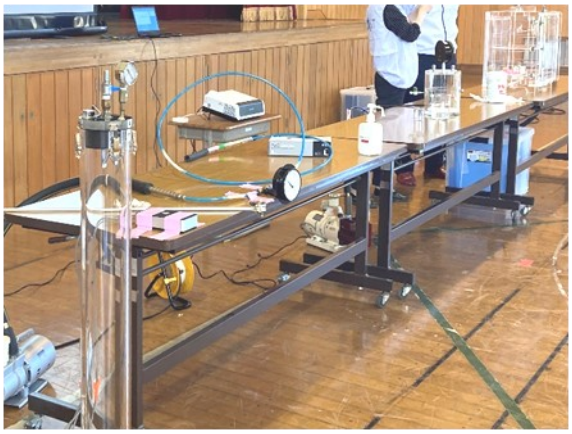
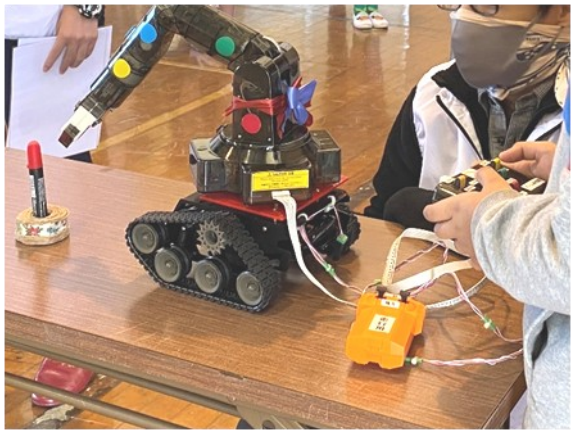



図 6　小学校での出張授業の様子.

ながら体験や観察をしてもらった(**図 6**). 子どもたちは初めて見る実験器材や材料に関心を寄せると同時に実験結果に驚いており，楽しく体験をしてもらえた様子だった.

11月6日にオンラインで開催されたサイエンスアゴラ2021に出展し,2部構成でITERを紹介する生配信を行った. 前半はバーチャルツアーとしてフランスと中継を繋ぎ，現地職員が ITER 建設サイト内を撮影した動画に合わせて，最新の建設状況を伝えた. 後半は日本の調達機器開発を担当する研究者 4 名が核融合研究のやりがいや ITER の魅力を語った．また，国際的な最先端研究を進める上で実感した困難なことなども率直に語り,壮大なプロジェクトに参加する研究者の生の声を伝えた.

11月22日～25日にオンラインで開催されたプラズマ・核融合学会第 38 回年会に出展した．会期中に開催された出展企業セミナーに参加し，ITER の進捗状況や ITER 機構職員，インターンシップ，ポスドクフェローの公募を紹介した．さらに，ポスター会場内に設置されたブースでは，来訪者に対してより詳しい説明を行った. 2022年向けのインターンシップについては,公募開始時に68件のテーマが発表され，2022 年 2 月 16 日まで応募を受け付けている．また，2023 年向けについては，ITER 日本国内機関が随時テーマの相談を受け付けている. また,2年毎に公募されるモナコ公国/ITER機構ポスドクフェローも 2022 年 1 月に公募が開始されるので，皆様にはぜひ応募を検討いただきたい.

今後も核融合エネルギーやITERを幅広い世代の方々に理解を深めていただけるよう対面・オンラインに関わらず広報活動を続けていく.

（量子科学技術研究開発機構　量子エネルギー部門）

インフォメーション

ITERだより（92）

1. ITER/BA 成果報告会 2021

ITER/BA成果報告会2021「新たな未来を創造する核融合エネルギー」が，核融合エネルギーフォーラムの主催により，量子科学技術研究開発機構（以下，量研）及び自然科学研究機構核融合科学研究所の共催，電気事業連合会，日本原子力産業協会，日本電機工業会，プラズマ・核融合学会及び日本原子力学会の協賛，文部科学省及び外務省の後援のもと，東京都千代田区内幸町のイイノホールにおいて，2021年12月17日に開催された（**図1**）．ここでは，ITER計画とBA活動に関して，来賓挨拶，基調報告，特別講演，技術報告などを通して，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．佐和隆光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，田中英之文部科学副大臣，森英介自由民主党核融合エネルギー推進議員連盟会長，泉澤清次日本経済団体連合会むつ小川原開発推進委員会委員長により，来賓挨拶が述べられた．

基調報告では，フランスからのライブ中継によるITER機構のベルナール・ビゴ機構長及び多田栄介副機構長からの「ITERの建設状況」，岩渕秀樹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」，井上多加志量研那珂研究所ITERプロジェクト部長の講演及びJT-60中央制御室からのライブ中継を交えた「ITER機器製作の展開とJT-60SAのファーストプラズマに向けて」，谷川博康量研六ヶ所研究所ブランケット研究部次長による講演及び研究開発担当者からのビデオメッセージを織り込んだ「核融合エネルギー取り出し技術の進展と展望」について，それぞれ報告が行われた．

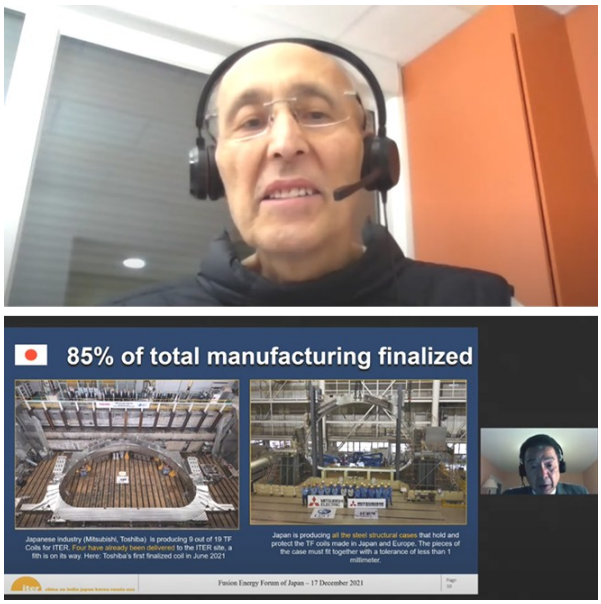


図1　ITER機構のビゴ機構長及び多田副機構長によるフランスからのライブメッセージ及び講演の様子．写真上：メッセージを届けるビゴ機構長，写真下：講演を行う多田副機構長．

特別講演では，田中伸男 Innovation for Cool Earth Forum（ICEF）運営委員会議長による「エネルギー安全保障とカーボンニュートラル」と題する話題が提供された．

技術報告では，「ITER/BAから原型炉へ活発化する産業界の技術連携」をテーマとして，はじめに石井康友量研六ヶ所研究所核融合炉システム研究開発部次長による趣旨説明が行われ，次に，宇都野太氏（出光興産株式会社），川上智彦氏（株式会社化研），尾崎真司氏（木村化工機株式会社），高橋光俊氏（助川電気工業株式会社），久保仁志氏（田中貴金属工業株式会社）及び萩野源次郎氏（大和合金株式会社）により，それぞれ報告が行われた．

最後に，山田弘司ITER/BA成果報告会・全体会合組織委員会委員長により，閉会挨拶が行われた．

2020年度と同様に，会場収容率の制限をはじめ新型コロナウイルス感染症対策を行いつつ開催され，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231名の来場者を得るとともに，YouTubeでのライブ配信を日本語及び英語の2チャンネルにて実施し，日本語チャンネルで推定約590人，英語チャンネルで推定約70人に視聴され，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．

なお，下記に示すとおり，成果報告会の動画はYouTubeにて視聴でき，講演発表資料は核融合エネルギーフォーラムのホームページにて閲覧できるので，ぜひご覧いただきたい．

＜動画＞
日本語チャンネル： https://youtu.be/8vPFiGIgf3U
英語チャンネル： https://youtu.be/2W2xw4fByO4
＜講演発表資料＞
日本語ページ：
https://www.fusion.qst.go.jp/fusion-energy-forum/topics/topics2021/topics2021seika.html
英語ページ：
https://www.fusion.qst.go.jp/fusion-energy-forum/topics/topics2021/topics2021seika_en.html

2. 実機ダイバータ6機製作契約締結

量研は，2021年10月にITERにおいて用いられるダイバータの構成要素の一つである外側垂直ターゲット6機製作の調達契約を三菱重工業（株）と締結した（**図2**）．本契約では，全54機のうち初回製作分（初号機～6号機）を担うもので，2024年度中に順次完成の予定である．

ダイバータは，核融合反応で生成される炉心プラズマ中のヘリウム（He）や燃え残った燃料，不純物を排出し，高熱負荷・粒子負荷を除去してプラズマを安定的に閉じ込めるために必要な，トカマク型装置を採用する核融合炉における最重要機器の一つである．日本が調達する外側垂直ターゲットのほか，欧州が製作を担うカセットボ

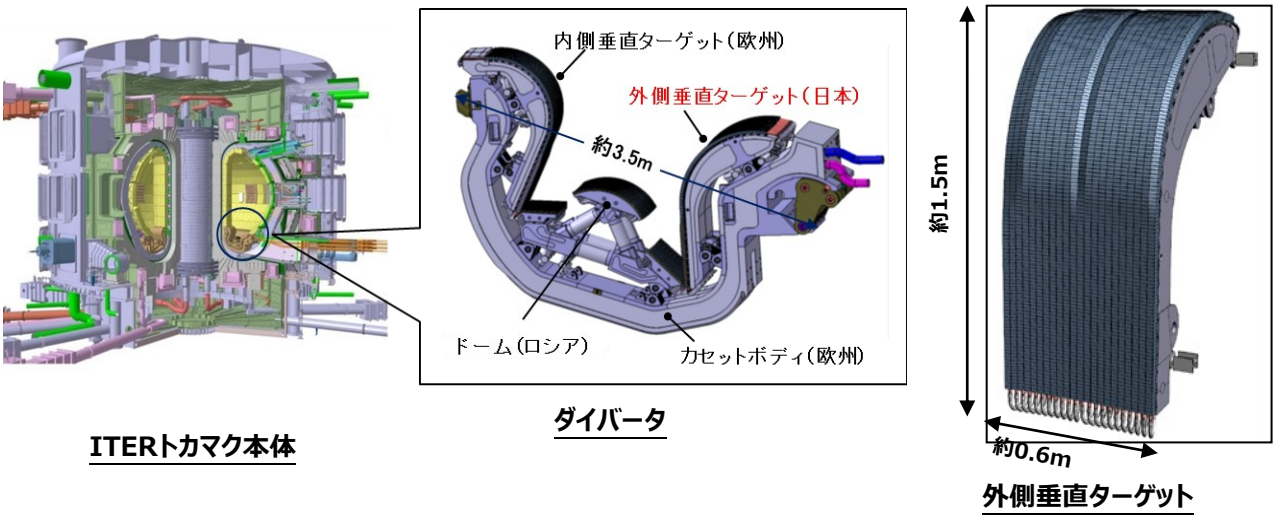


図2 ITERにおいて用いられるダイバータの構成要素の一つである外側垂直ターゲット.

ディや内側垂直ターゲット, ならびにロシアで製作されるドームの 4 要素で構成される.

ダイバータの熱負荷は最大で 20 MW/m^2 に達する. これは, 小惑星探査機が大気圏突入の際に受ける表面熱負荷に匹敵し, スペースシャトルが受ける表面熱負荷の約 30 倍に当たる. 構造上プラズマに直面する外側垂直ターゲットは, プラズマからの熱負荷や粒子負荷などに晒される厳しい環境で使用されることから, その構造体は非常に複雑な形状を有しており, 高精度の製作・加工技術が要求される.

なお, 三菱重工業 (株) は, 同じく ITER 向けの主要機器である TF コイルについても, 全 19 基中 5 基の製作を受注しており, これまでに 4 基を出荷した. 現地では, ITER機構による本体への組み込み作業が行われている. 量研は三菱重工業 (株) と連携し, 引き続き高熱負荷, 高精度が要求されるダイバータ製作にも取り組むことで, ITER 計画を積極的に進めていく.

プレスリリース
南フランス・核融合実験炉イーターのダイバータ向け外側垂直ターゲット 6 基を受注
高難度製作物の量産化技術で, 核融合エネルギーの実現に貢献
https://www.mhi.com/jp/news/211213.html

3. 国際核融合プロジェクトに参画し, フォーブス・ジャパン社によるスモール・ジャイアンツ・アワード 2021-2022 カッティングエッジ賞を受賞 (大和合金株式会社 代表取締役社長 萩野源次郎)

2021 年 12 月 8 日に大和合金が世界でも有数の経済誌フォーブス・ジャパン主催の Small Giants Award 2021-2022 において, カッティングエッジ賞を受賞した (**図 3**). 受賞理由は大和合金が核融合プロジェクトに参画し, 先進的な技術で業界をリードしているということが高く評価されたからだ. Small Giants Award とは, フォーブス・ジャパンが 2018 年から開始したビジネスアワードで, 私たちのライフスタイルを変えるようなユニークなプロダクトやサービスを生み出した企業に着目し, 未来を切り開く, 日本が誇る小さな大企業—「スモール・ジャイアンツ」として発掘プロジェクトを開始したものである. 世界に羽ばたくような活動にスポットライトを当て, 成功のロールモデルを提示することを通じて日本経済の底上げを目指すことを目的としている賞で, 今回で 5 回目となる.

図3 Forbes Japan Small Giants Award 2021-2022受賞式 (中央: 萩野大和合金社長).

大和合金は 2021 年 2 月に欧州組織： Fusion for Energy (以下, F4E) への入札で世界 5 社が選定された中に欧州以外の国では唯一日本企業として認定され, その後 2021 年 5 月には第一壁パネル用特殊銅合金の初仕事を落札した. この前提には 2015 年からの F4E やフランスやドイツへ広がる F4E のサプライチェーンへの働きかけがあり, そこでの技術力や生産能力のアピールと実績並びに欧州支店の 2019 年設立が功を奏した.

もともと大和合金の核融合プロジェクトへの関わりは 2006 年にさかのぼる. 銅合金製造の大手企業が日本原子力研究所 那珂核融合研究所 (現 量研 那珂研究所) へ大

図 4　量研機構への銅合金冷却管の完成品の出荷準備.

和合金のことを紹介したことから始まった. その後 8 年かけて ITER ダイバータの銅合金冷却管用素材の最適な製造条件を探り, 工程を確立した (**図 4**). ベースには創業 81 年の歴史を誇る大和合金のコア技術となる結晶粒の制御技術と熱負荷を受けても機械的性質を保持させる技術があった. このコア技術は日本をはじめ, アメリカ, EU, ロシア, 中国, 韓国でそれぞれ特許化された.

国際核融合プロジェクトは国際協調でスタートしたが, 今や既に国際競争の局面を迎えている. 米国やカナダでは名立たる大資本家による核融合ベンチャーへの投資が既に行われ始めている. 大和合金は ITER での実績を背に新たな実用化プロジェクトにも目を向けている.

4. ITER ダイバータ赤外サーモグラフィのレンズ材料のガンマ線及び中性子照射による中赤外光学特性の影響評価

量研では, ITER ダイバータ赤外サーモグラフィ (IRTh) の開発を行っている. ITER の光学機器は高い放射線環境下に光学素子を配置するため, ITER 運転期間を通して顕著な透過率劣化がない光学素子の選定が不可欠になる. IRTh では観測波長領域 (1.5 – 4.5 μm) の色収差の補正のため, 蛍石, セレン化亜鉛, シリコンの 3 種類のレンズを組み合わせて使用することを想定しており, 今回はこの 3 種類のレンズ材料の内, 蛍石, セレン化亜鉛の IRTh 波長領域の放射線耐性の調査を行った.

蛍石は, 大部分の照射サンプルが ITER 相当の照射環境 (ガンマ線 : 5.8 MGy, 中性子 : 5.0×10^{16} n/cm^2) において高い放射線耐性を示した一方, 材料の品質の個体差により, 一部の少数のサンプルでは 1.5 μm 付近で (厚み 1 mm あたり) 数%以上の内部透過率の劣化が生じることが明らかになった. 実機の材料選定の課題となる個体差の問題を克服するため, 蛍石の不純物の含有に相関を持つ真空紫外透過率の吸収端の波長を照射前に事前に

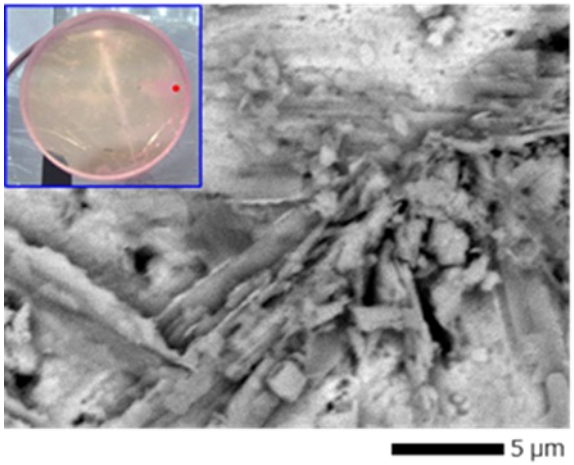


図 5　ガンマ線照射後の ZnSe サンプル表面の層さ電子顕微鏡画像.

測定することで, 非破壊で一部の粗悪な放射線耐性を持つ材料を選別する手法を考案した. これまでの試験からガンマ線・中性子照射の両方において照射後 (波長 1.5 μm において) 1%以上の透過率劣化を示す粗悪なサンプルは, 他の良好なサンプルに比べ大きなカットオフ波長を有することがわかっており, 非破壊で粗悪な材料を回避できる可能性を初めて示した.

セレン化亜鉛は中性子に対しては強い放射線耐性を示す一方, ガンマ線照射においては 5 mm 厚の硝材サンプルに対し 3 μm 付近で数%程度の透過率の劣化が生じることが明らかになった. 走査型電子顕微鏡による表面観察からは照射後のサンプル表面にはマイクロスケールの特徴的な (針状) 構造が成長していることがわかり (**図 5**), 透過率劣化との因果関係が疑われた. X 線光電子分光 (XPS) 法による分析から, 3 μm 付近に現れた特徴的な吸収はガンマ線照射により酸化が促進された結果表面で生成された水酸化物が原因であると最終的に特定した. サンプル深さ方向の水酸化物, 及び酸素の存在量を評価からは水酸化物はサンプル表面深さが深くなるにつれて指数関数的に減少しており, 水酸化物はサンプル表面のみに存在していることが明らかになった. このことは, ガンマ線照射による ZnSe の透過率劣化は硝材の厚みではなく, 使用するレンズの枚数 (光学面の数) のみに依存することを示しており, 実機レンズ (厚み 25 mm) でも光学系の透過率の低下は 3 μm 付近の数%程度のみであると見込まれ, 十分な透過率を維持していることから, ZnSe レンズの実機使用の目途が立った.

本成果は IRTh の放射線に対する信頼性を高めただけでなく, 今後 ITER 環境とは異なる環境下 (より高い放射線環境, 湿潤環境下, 宇宙環境下等) で本材料を使用する場合での使用可能性を判断する上で, 非常に重要な知見を与えた. 以上の成果で, 令和 3 年度日本原子力学会北関東支部リモート若手研究者・技術者発表会において牛木知彦研究員が最優秀発表賞を受賞した. 今後も ITER 計測機器開発を通し, 他分野への波及可能な知見の獲得に努める.

5. ITER サイトでの ITER 組立進捗状況

昨年 12 月，二つ目のサブセクター（セクター 7）の組立が SSAT（Sector Sub-Assembly tool）上で開始された．SSAT は組立室内に 2 機あり，現在 1 機目はピット移動を待つセクター 6 が乗っている状態である．その隣にある別の SSAT 上に韓国製真空容器が新たに乗った（**図 6**）．同組立室内で立て起こしジグにて約 1 日かけて真空容器を立て，さらに写真のように特殊な吊りジグを使って 440 トンもの真空容器を吊り上げて SSAT に設置した．その後，一週間程度で位置調整（± 3 ㎜以内）を完了させ，現在 VV サーマルシールドの組立を実施中である．VV サーマルシールドは，まずインボード側 40 度 VV サーマルシールド 1 体を真空容器に仮設置し，その後，アウトボード 20 度 VV サーマルシールドを 2 体設置する．これらの VV サーマルシールドの設置後に 2 体の TF コイルが設置される手順となっている．

一方，各国からの主要機器の納入も目白押しであり，EU がオンサイトで製作していた PF#2 が完成し，昨年 12 月に IO サイト内の保管場所に納入された（**図 7**）．また，韓国で製作されていた 3 体目の真空容器（セクター 8）が完成し，今年 1 月に韓国から出荷された．本セクターは 3 月に IO サイトに到着予定である（**図 8**）．このように，ITER サイトでは様々な作業が同時に進行中であり，どれも前例のない規模となっているため気を引き締めて作業にあたっている．

6. 三菱みなとみらい技術館オンラインイベント『SF 思考で考える－核融合エネルギーが実現する未来社会とは－』に参加

ITER の機器調達において，日本が調達責任を有する TF コイルを始めとして，ダイバータなどの製作に参画している三菱重工業が運営する三菱みなとみらい技術館（横浜市）の主催により，オンライントークイベント「SF 思考で考える－核融合エネルギーが実現する未来社会とは－」が 2022 年 1 月 27 日（木）に開催された（**図 9**）．本イベントは，同技術館として初めて社会人・学生（高校生以上）向けに開催したものである．

三菱重工業では「MISSION NET ZERO」をキャッチフレーズに，カーボンニュートラル社会の実現に向けた取り組みを進める活動の一環として，このイベントで核融合エネルギーを取り上げた．この際に，未来を描くための手法として注目されている“SF 思考”を仲立ちとして，「核融合エネルギーが実現する未来社会とはどのようなものか」「私たちの生活にどのような変化が起こるのか」といった切り口で未来社会をパネラー，モデレー

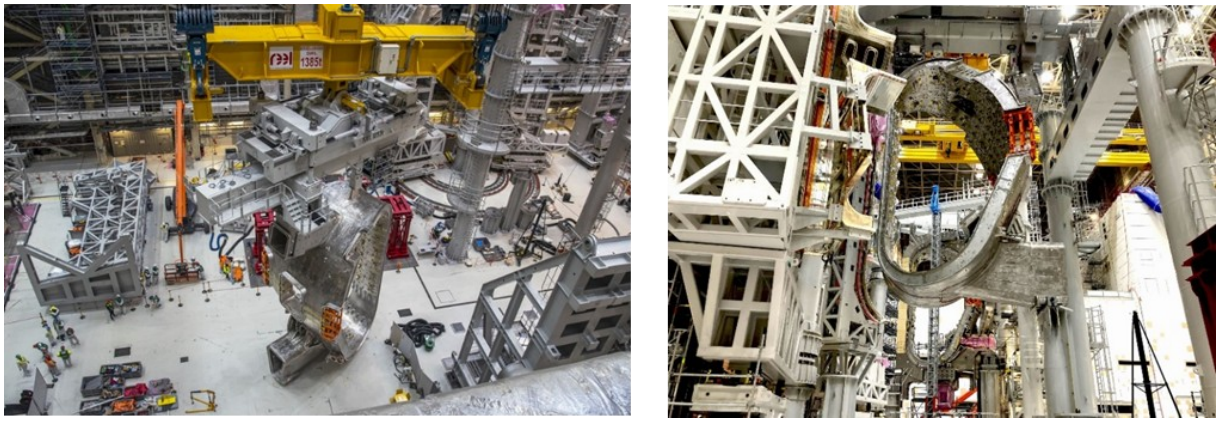


図 6　二つ目のサブセクター＃ 7 の組立開始．

図 7　完成した PF ＃ 2．

図 8　韓国製 3 体目真空容器の出荷．

図 9 イベント案内.

図 10 イベントの様子.

ター, オンライン上の視聴者の方々と想像していくことが狙いであった.

このイベントでは,『SF 思考－ビジネスと自分の未来を考えるスキル（ダイヤモンド社刊)』の編著者である三菱総合研究所シニアプロデューサーの藤本敦也氏, 日本を代表する SF 作家の野尻抱介氏をパネリストとしてお招きするとともに, 南仏 ITER 機構より大前敬祥首席戦略官がオンラインで参加, 三菱総合研究所参与の関根秀真氏をモデレーターに, フリートークを交えながら核融合エネルギーの可能性について解説した（**図 10**）.

イベントは 500 名超の方々に視聴いただき, 好評かつ次に繋がるコメントを多くいただくことができた. これまで核融合エネルギーに馴染みのない方にも興味を持っていただける良い機会となった.

イベントは, 閉会後も続いたトークを含め以下に公開されている.

三菱みなとみらい技術館 公式チャンネル
https://www.youtube.com/user/mmgijutsukan
『SF 思考で考える－核融合エネルギーが実現する未来社会とは－』本編
https://youtu.be/NwKeounPZYg
『SF 思考で考える－核融合エネルギーが実現する未来社会とは－』番外編
https://youtu.be/qn8uSOwPzL8

7. 第 28 回 ITER 企業説明会の開催

ITER 企業説明会は昨年に引き続きオンラインで開催し, 文部科学省, 量研の各担当者が参加者約 60 名に向けて, 核融合研究開発の動向や ITER 機器の調達等について説明した（**図 11**）.

文部科学省研究開発局の岩渕秀樹研究開発戦略官（核融合・原子力国際協力担当）からは, 諸外国における核融合研究開発の情勢及び日本の政策における核融合研究開発について説明があった. 主要国は, カーボンニュートラルの実現に向けて, 核融合エネルギー開発に関する各国独自の取組を 2020 年頃から一斉に加速させており, 核融合ベンチャー数及び投資額も増加している状況である. 日本国内においても, 第二百八回国会における岸田内閣総理大臣の施政方針演説において, 気候変動問題の対応として核融合などの非炭素電源に方向性

図 11　第 28 回 ITER 企業説明会オンライン開催の様子.

図 12　ITER マイルストーン記念写真に写る数名の現地日本人スタッフ（ITER 機構提供）.

を見出していくことが盛り込まれた.

量研 杉本ITER日本国内機関長は,日本が分担する調達機器の進捗・主な成果, ITER機構の調達活動に関する量研の支援内容などを説明した.調達機器の詳細については, 中性粒子入射加熱装置（NB）, 計測機器, 遠隔保守機器, トリチウム除去系の概要や今後の調達スケジュールを各担当者が説明した. また, フランス現地からITERサイトの建設, 組立の最新状況を説明した.

企業説明会は今年もオンラインでの開催となり,全国各地の企業・機関から多くの方にご参加いただいた. ファーストプラズマに向けて日本の調達機器の製作を着実に進めるため, 今まで以上に産業界のご理解, ご協力を得られるよう, 量研は今後もITER参画推進活動を続けていく.

なお, ITER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」に掲載している.（http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/jada/page2_7.html）

8. ITER 機構職員というキャリアを考える～今後の ITER 機構職員の募集動向～

ITER機構は2023年に向けてさらなる職員増員を予定している. ITER計画は建設から装置の組み立てに移行し, さらにファーストプラズマとその後の運転を見据えた新たな人材を求めているためだ.新たに公募が行われている人材層はITERの運転に重点を移し, 加熱装置や計測装置の専門家など, プラズマ・核融合学会の会員に適した公募が増えているところである.

ITER建設期に公募を見て専門が異なると感じていた方も, 現在の公募内容をご確認いただき, 現実的な選択肢と捉えて検討いただけるとありがたい.日本は参加極のひとつとして職員になる機会が与えられており,公募内容に沿った専門性を持ち合わせていれば応募することができる. 加えて, ダイバーシティを重んじるITER機構において日本人職員が増えることは大いに歓迎されている（**図 12**）.

ITERで働く醍醐味は人それぞれ様々で,南仏の気候, 雄大な自然,ワークライフバランスなど魅力多い環境での生活に虜になる職員も少なくない.それも影響してか, 5年契約の任期を迎えた日本人職員の多くは更新契約を結び,ファーストプラズマに向けて業務を継続するとともに, 南仏生活を引き続き楽しんでいる.

ITER職員の日本人割合が増えることは, 将来の日本の原型炉開発・核融合発電実用化にとって非常に有益な財産となる. 是非キャリアチェンジを前向きに捉え, 一人でも多くの日本人にITERプロジェクトに参画いただきたい. そして, 経験から得られる技術・知見を日本に持ち帰り,今後の核融合開発を大いに盛り上げて欲しいと願う. 職員応募についてご相談・検討されたい方は, お気軽にご連絡いただきたい.

ITER機構職員募集
https://www.fusion.qst.go.jp/ITER/staff/page6_2.html
ITER日本国内機関窓口
（E-mail ： jada-recruiting@qst.go.jp）

（量子科学技術研究開発機構　量子エネルギー部門）

インフォメーション

ITERだより（93）

1. 実機ジャイロトロン最初の2機がITER機構に到着

量子科学技術研究開発機構（以下，量研）のITERジャイロトロン1号機と2号機が，2022年2月にITERサイト内の空調管理倉庫に到着した．2機のジャイロトロンは，2016年12月と2017年2月に製作が完了し，量研内の高周波試験装置にて調整運転が行われた後，量研とITER機構間で合意した試験項目を実施する性能確認試験が行われた．性能確認試験では，出力1 MW／電力効率50%／連続運転300秒の実証と，高繰り返し（Duty比25%の20ショット）・高信頼度（成功率90%以上）試験，1 kHz～5 kHzでのON-OFF出力変調動作などの試験項目を全て満足して，2019年12月に2機の性能確認試験を完了した．その後は，量研内で保管されてきたが，ITERサイトにおける高周波建屋の完成にともない，2022年1月に量研を旅立った（**図1**）．

ジャイロトロンは，ITERにおける加熱・電流駆動装置のひとつである電子サイクロトロン共鳴加熱・電流駆動装置の心臓部となる高周波発振源（ミリ波源）である．ジャイロトロンが発生する大電力のミリ波は，炉心プラズマの着火・初期加熱に始まり，局所的な電流分布制御により鋸歯状振動や新古典ティアリングモードの不安定性を抑制し，プラズマを安定な状態に維持する．ITERジャイロトロンは，日本が8機，ロシアが8機，欧州が6機，インドが2機を調達することとなっており，日本は全8機の製作と5機の性能確認試験を既に完了している（**図2**）．今回輸送されたジャイロトロンは，ファーストプラズマを生成するという重要な役目を担う．ジャイロトロンのシステム構成に必要なジャイロトロン架台や冷却水マニホールド，加速電源は全8機分の輸送が完了しており，超伝導マグネットやジャイロトロンと伝送系を接続する準光学整合器も4機分が輸送された．2022年度内には高周波建屋への据付け作業が開始される計画となっており，ジャイロトロンシステム構築後には欧州が調達した高電圧電源と組み合わせた統合試験を行う予定である．

図1　量研を出発した2機のジャイロトロンがITER機構に到着．

図2　製作を完了した8機のジャイロトロン．

図3 モナコ/ITERポスドクフェローのみなさん（ITER機構提供）.

2. 新しいITER機構のポスドク制度

2022年春から,ITER機構の新しいポスドク制度,「ITERポスドクフェロー」の公募が開始される. ITER機構ではこれまで，モナコ公国との連携協力に基づき,「モナコ/ITERポスドクフェロー」が，2年毎に5名の公募が行われており,これまでに2名の邦人が本制度でITER機構で研究を行なった（**図3**）. これまでのモナコ/ITERポスドクフェローでは，具体的な職務内容は定めずに公募されていたが,今年から新設される「ITERポスドクフェロー」では，具体的な職務内容が示される予定.

本プログラムは,日本を含むITER参加7極からのすべてのポストドクターに開かれている. 対象者は,博士号を取得した方（科学者，実験物理学者，エンジニアなど）で，ポスドク開始前に博士号を取得し，かつ応募時に取得から3年を超えていないことが必要.

公募開始は4月の予定で,今年は約10件の公募が行われる予定. 本記事の内容から変更される可能性があり，詳細については下記を参照してご応募いただきたい.

ポスドクフェローシップの公募について
https://www.fusion.qst.go.jp/ITER/staff/PostDoc.html

3. ITER日本国内機関2021年度広報活動

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.

2016年4月より運用を開始したSNS（Facebook及びTwitter及びInstagram）では,ITER建設状況及びITER組立の最新情報，核融合に関するニュース，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. 2021年度は図表や説明イラスト，写真，動画メディアを多く投稿し,新規フォロワーにも分かりやすい説明を定期的に投稿することで,Twitterフォロワー数は1年間で3,500名増えて，5千人のフォロワーも間近となった. YouTube動画では,ITER機構のYouTube動画に日本語訳を付け，ITER Japanコンテンツとして毎月の配信を継続している（**図4**）.

図4 ITER Japanの Twitter 画面.

SNSフォロワー数の増加に伴い，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. 2021年6月に「一般の方向けページ」をリニューアル，2022年3月には，知識のない方向けの資料と専門的な資料やコンテンツをまとめたページ「核融合をイチから学べる！もっと学べる！」を公開した（**図5**）. 今後も，分かりやすいコンテンツ制作やSNS発信等,認知度向上のための広報活動に今以上に力を入れていきたい.

Facebook URL ： https://www.facebook.com/iterjapan/
Twitter URL ： https://twitter.com/iterjapan/
Instagram URL ：
https://www.instagram.com/iterjapan_qst/
一般の方向けページ：
https://www.fusion.qst.go.jp/ITER/iter/about.html
核融合をイチから学べる！もっと学べる！：
https://www.fusion.qst.go.jp/ITER/iter/bg_info_fusion.html

また,核融合に関するメディア露出も増えてきている. TOKYO MX「堀潤モーニングFLAG」では，2/21に栗原前量子エネルギー部門長が番組出演した放送回のWebページが公開され,3/16には司会の堀潤氏が那珂研究所を訪問し現場取材される様子が放送された. 現在YouTube動画が公開されている.

TOKYO MX「堀潤が伝える3.11“夢のエネルギー”核融合発電」（2022年3月16日放送）
https://youtu.be/OEh2J2D5fA0

TOKYO MXプラス「次世代エネルギーとして注目の「核融合発電」を専門家が解説」
https://s.mxtv.jp/tokyomxplus/mx/article/202203280650/detail/

図 5　公開中のホームページ.

（量子科学技術研究開発機構　量子エネルギー部門）

インフォメーション

ITERだより（94）

1. ベルナール・ビゴ機構長のご逝去と多田栄介氏の機構長就任

2022年5月14日，ベルナール・ビゴITER機構長が病気のため逝去された．ビゴ機構長は，1979年博士号（物理学）を取得（フランス国立パリ第六大学）し，フランス原子力委員会委員，フランス政府特命原子力最高顧問等を歴任し，2009年からフランス原子力・代替エネルギー庁長官を努めた後，2015年にITER機構長に就任し，7年間に渡って卓越したリーダーシップによりITER計画を牽引された（**図1**）．

5月16日19時，世界中のビゴ機構長の同僚，友人たちが黙祷を捧げ哀悼の意を表し，6月1日にはパリのアンヴァリッド，サン・ルイ大聖堂において，追悼式典が行われた．また，ITER機構のウェブサイトに作られたビゴ博士の追悼ページには，世界中から寄せられた追悼文が掲載された．ビコ機構長の追悼の記事はITER機構ニュースラインに掲載されている．
https://www.iter.org/newsline/-/3760

2015年より副機構長を勤めてきた多田栄介博士が，ビゴ機構長の後継者が就任するまでの間，ITER理事会により機構長に任命された（**図2**）．多田新機構長は，1987年に旧日本原子力研究所（後に原子力機構，現量研）に入所し，超伝導コイルや真空容器，遠隔機器等の開発開発に携わった．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，ITER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．2006年にはITER機構に着任し，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，原子力機構でITER日本国内機関長として，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た．2015年5月ITER機構の副機構長に就任し，以降7年間，ビゴ機構長と共にITER機構を率いてきた．

2. 第28回ITER科学技術諮問委員会（STAC-28）が開催

第28回ITER科学技術諮問委員会（STAC-28）が5月10～12日の3日間，DESHPANDE Shishir議長（印・プラズマ研究所）のもとITER参加7極から33名の委員及び専門家を集めて開催された．前回同様，今回もCOVID-19の影響を考慮し，遠隔ビデオ会議形式で行われた．日本からは小野靖委員（東大），鎌田裕委員（量研），上田良夫専門家（阪大），森崎友宏専門家（核融合研），大山直幸専門家（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) 統合試験運転，計測システム，プラズマ制御，壁調整を含む初プラズマの進捗状況と計画
(2) 設計と利用の実験的根拠を含む，ディスラプション緩和システム（DMS）設計活動の現状

の2つの項目に対して，ITER機構（IO）の報告を聴取してITER理事会への勧告を取りまとめることである．STAC

図1 ベルナール・ビゴ機構長（2015～2022）．

図2 ITER理事会により暫定的に任命された多田栄介 新機構長．

委員と専門家はこれらのチャージに対して，2つのサブグループに分かれてIOの報告内容を検討した．その結果，(1)については，統合試験運転および初プラズマの計画には適切な順番で統合試験運転に必要なすべての項目が含まれており，この計画は「技術的に達成可能な最良の工程」を示していることに留意するが，現時点では技術工程の実際の実行可能性を確認できないと指摘するとともに，電子サイクロトロン波壁調整の追加といった，壁調整の機能拡張をIOが検討することを勧告した．また，(2)については，DMSの設計と適化に費やされた高いレベルで質の高い努力を称賛するが，DMSの性能要件を特定するために必要な科学的理解と，その技術設計および実装の両方に不確実性が残っていることを指摘し，2022～23年に既存のトカマクで計画されている実験の結果，それらの解釈，緊急のモデリング，および主要な技術R&Dの結果をDMS最終設計レビューに組み込むようIOに勧告した．

3. ITERサイトでのITER組立進捗状況

今年5月，ITERプロジェクトの大きなマイルストーンである一つ目のサブセクター（セクター6）が成功裏に組立室からピットに運ばれた．本サブセクターは，真空容器（韓国製），真空容器サーマルシールド（韓国製），2つのトロイダル磁場コイル(2体とも日本製)からなり，吊りジグを合わせると合計1,380トンと本プロジェクトで最も重い機器のハンドリングとなる．本移動には，吊りジグの持つ位置調整機能によりサブセクターの重心位置を調整しながらリハーサルを繰り返し，機器間の固定や動線の最終チェックと共に作業準備が進められ，計画通り二つの天井クレーン(750トン×2)を並走しての移動となった(**図3**)．ピット搬入後にピット内位置調整ツールに設置された後，クレーンを切り離し，現在，ミリ単位の位置微調整を行っている．本マイルストーンの達成によって，ITER主要機器の組立室およびピット同時組立作業に益々拍車がかかっている．続く2体目のサブセクター（セクター7）の組立櫓（SSAT）での組立も進んでおり（**図4**），セクター7の真空容器サーマルシールドの組立が完了し，トロイダル磁場コイルのSSAT回転アームへの設置作業が行われ，2体目のサブセクターのピット搬入に向けて急ピッチで作業が進められている．

一方，組立室内では，前述のセクター7のSSAT作業と並行して4月初めにサイトに到着した3体目の韓国製真空容器セクター8および同国製真空容器サーマルシールドのSSATへの設置前準備作業が実施されている．また，センターソレノイドの組み上げもいよいよ始まろうとしている．メインビルディングの外では，クライオスタット上蓋の現地溶接が3月に完了するとともに(**図5**)，同月には日本製作の 6 つ目のトロイダル磁場コイル

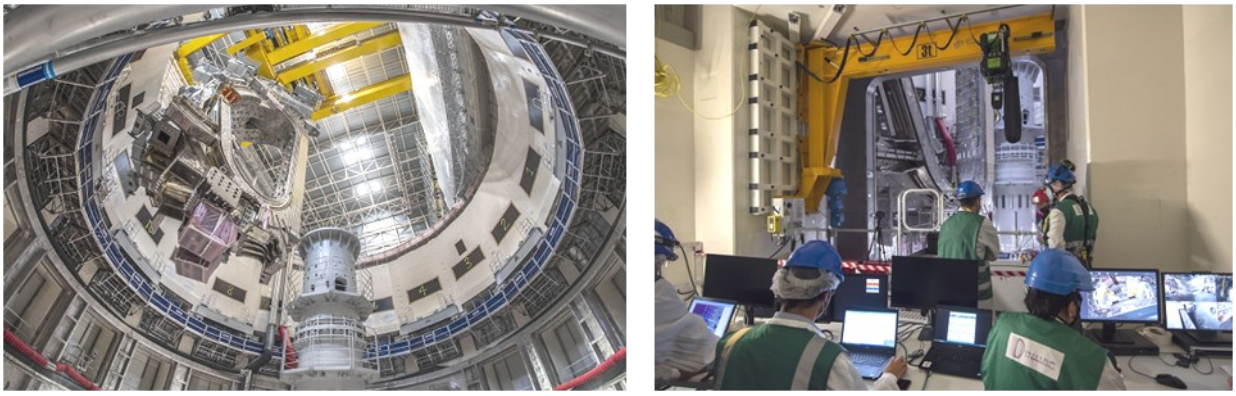


図3　サブセクター#6のピット搬入作業とオペレーション風景．

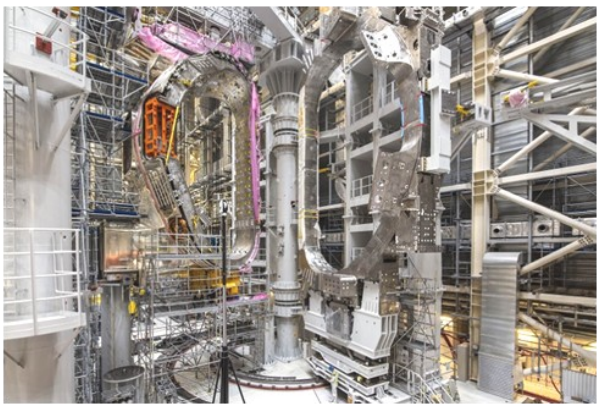


図4　サブセクター#7 TF09（EU製）のSSAT設置．

図5　クライオスタット上蓋：現地溶接完了．

図 6　オンラインセミナーの様子.

（TF16）が，5 月には EU7 体目の TF17 がサイトに到着した．このように，サイト内組立活動は活気を帯びている状況である．

4. オンラインセミナー「核融合× ITER 組立が進む「ITER」の現状を語る！」を開催

令和 4 年 6 月 10 日（金）に，学生，一般の方を対象にしたITERオンラインセミナー「核融合× ITER 組立が進む「ITER」の現状を語る！」を開催した（**図 6**）．

学生から一般まで合計 58 名の参加があり，プログラムの第 1 部「ITER の現状（いま）を語る」では，ITER 機構の大前敬祥首席戦略官とITER国内機関長の杉本誠（量研）が，核融合の原理，ITER 計画の概要，ITER 建設の最新状況，世界の核融合事情などについて，対話形式で説明を行った．第 2 部の Q&A コーナーでは，事前に寄せられた質問と当日届いた質問に対して，二人がその場で参加者への回答を行った．

主にSNSやホームページでセミナーへの参加を呼びかけたところ，参加者の年代は高校生から社会人まで幅広くご参加いただけた．開催後のアンケートの結果により，概ねセミナーには満足していただけたようで，参加者のほとんどから今後のITER/核融合のセミナーにも参加したいとの回答をもらうことができた．

今後のセミナー内容の要望も複数いただいており，これらの意見も参考に内容を考慮し，より多くの方への認知度向上につながるよう，今後のセミナーの企画・実施を進めていきたい．

オンラインセミナーの説明資料はウェブサイトで公開しているので，参照していただきたい．

https://www.fusion.qst.go.jp/ITER/iter/event20220610.html

（量子科学技術研究開発機構　量子エネルギー部門）

インフォメーション

ITERだより（95）

1. 第29回ITER理事会が開催

2022年6月15日，16日にITER理事会は第30回会合を開催し，ITER計画の最新の進捗報告の評価を行った．プロジェクトは，ITER機構（IO）と国内機関（DAs）による機器の納入，現地での据付・組立活動の成功のための最善の努力を反映し，着実な進捗を維持している．

ITER理事会では，以下についての報告・議論が行われた．

- 理事会は，前機構長ベルナール・ビゴ氏の悲しく早すぎる逝去を悼んだ．理事会は，新たな機構長ができる限り早く着任することを期待し，後継者を選定するプロセスを始めている．理事会は，暫定的に機構長に任命された多田栄介博士を含むITERの上級管理職と，IO-DAによる一つのITERチームに対し，この挑戦的な移行期間における堅固な実績と協力を称賛した．
- 理事会は，技術的挑戦と感染拡大の影響を考慮しつつ，2021年11月の理事会の要請に則ってIOから示された，プロジェクトの進捗を維持するための緩和策に重点が置かれたプロジェクトベースラインの見直しに留意した．理事会は，IOに対し，2023年の理事会での承認を目指し，国内機関と緊密に連携して見直しを一層発展させることを要請した．
- 2022年1月，フランスの規制当局である原子力安全局（ASN）はITER設計の承認後の2013年に設定された規制の一つである「ホールドポイント」を解除しなかった．理事会は，ASNの関心に応えるために追加の情報提供を行うIOの努力に留意し，本件の進捗を緊密に報告するようIOに要請した．
- 理事会は，主要機器の継続された納入と装置組立の進捗を含む，2021年11月の前回の理事会以降の重要なプロジェクトの成果を感謝しつつ留意した．
  - ➢ 最初の真空容器セクターの部分組立は，対応する二つの超伝導トロイダル磁場（TF）コイルと熱遮蔽部品の組み込みが完了し，トカマクピットに据付けられた．また，3番目の真空容器セクターがITERサイトに納入された．
  - ➢ クライオスタット上蓋が完成し，クライオスタットの全ての部品製作が完了した．
  - ➢ 超伝導磁石について，ポロイダル磁場コイルは6個中3個，トロイダル磁場コイルは18個中13個，中心ソレノイドモジュールは6個中2個が納入され，さらに追加のコイルが完成し出荷準備が完了している．また，底部補正コイルは全て据付られた．
  - ➢ プラントシステムにおいて大きな進捗があった．冷却システムが試運転に移行した．冷凍プラントの建設が完了し，現在機能試験が行われている．磁場電力変換建屋では初プラズマに必要な100%の機器が据付けられた．

2. ITERダイバータ赤外サーモグラフィのための加熱中タングステンの微細かつ動的な放射率変化に関する研究

量子科学技術研究開発機構（以下，量研）では，日本が調達を担当するITERダイバータ赤外サーモグラフィの研究開発を行っている．サーモグラフィにより高精度な温度計測を行うには，計測温度範囲にわたって変化するダイバータ放射率の温度特性の理解が不可欠であるため，これまで量研では観測波長である1.5 μm－4.5 μmの波長範囲を対象に200℃から1900℃のタングステン放射率の温度特性の詳細調査を実施してきた．しかし，この先行研究からは，約700℃から1700℃の温度区間においてはタングステンの放射率は再現性がないだけでなく，温度ヒステリシスを有することが明らかになり，上記温度区間での温度計測精度要求（10%）の実現が難しいという課題が浮き彫りとなっていた．

今回は，この課題を克服し高精度な温度計測を実現するため，上記のタングステン放射率の非再現性と温度ヒステリシスの原因の調査を行った．ここでは，「放射率の非再現性と温度ヒステリシスはタングステンの再結晶過程に伴う結晶構造の変化に起因する」という仮説を立て，100 μm 以下の高空間分解能を有する赤外計測系を開発し，昇温中のタングステン放射率の空間分布の計測を行った．**図1(a)**は波長4.56 μmにおける昇温中のタングステン試料表面の放射率，(b)は各温度の放射率の空間分布を示している．

今回の試験からタングステンの放射率は先行研究と同様に700℃から800℃にかけて急激にRamp upし，1200℃から1600℃にかけてRamp downするまでの温度区間で大きな温度ヒステリシスを有すること（**図1(a)**），またこの温度区間において試料表面の放射率はマイクロスケールでダイナミックに変化することが明らかになった（**図1(b)**）．さらに，**図1**のケースとは異なる昇温パターンとして，放射率のRamp downの途中（1400℃程度）で昇温を停止した試料表面のSEM及びレーザー顕微鏡等による表面分析から，試料表面の放射率が高いエリアでは厚み20 nm程度のマイクロポーラス状の構造が成長しており，放射率が低いエリアとでは明瞭な表面構造の違いが存在することが明らかになった（**図1(c)(d)**）．このことから，昇温中の700℃から800℃にかけての放射率のRamp upはタングステン表面上のマイクロ・ナノスケールの表面構造変化に起因するものであること，1200℃から1600℃にかけての放射率のRamp downはその構造がAnnealingされて消滅する様子であることを世界で初めて明らかにした．

このような放射率のヒステリシス，非再現性は温度計測において不都合な事実であるためこれまでその存在に

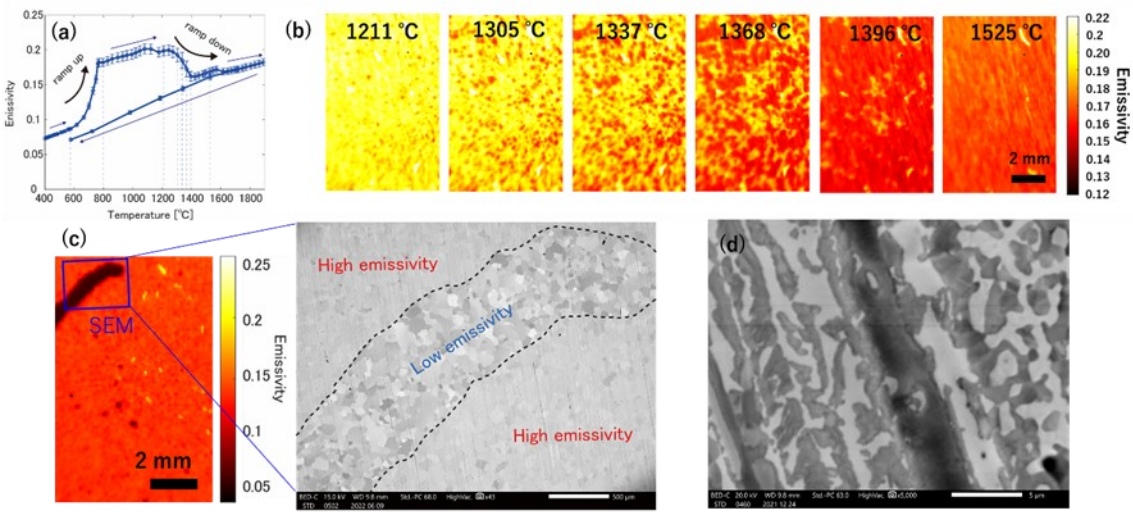


図 1 (a) 昇温中のタングステン試料表面の放射率（波長： 4.56 μm），(b) 赤外計測系により撮影した各温度のタングステン表面の放射率の空間分布，(c) 昇温中タングステン表面の放射率の空間分布（(a)(b)とは異なる昇温サイクル）と高温後の SEM 像（43 倍），(d) 放射率が高いエリアの SEM 像（5000 倍）.

光が当てられることはなかったが，赤外サーモグラフィによるタングステンの温度計測における最重要課題であるといえる．今後はこれまで得られた知見をもとにこれまでの実験結果を説明しうる新しい放射率モデルの開発を行い，より高精度な温度計測を目指す．

3. 無機絶縁物を利用した硬質ケーブルの均一薄膜めっき技術を開発

量研では，ITER マイクロフィッションチェンバー（MFC）の開発を行っている．この度，量研は，帝国イオン株式会社 （以下「帝国イオン」という．）及び株式会社岡崎製作所（以下「岡崎製作所」という．）と共同で，MFC の構成機器である真空容器内に設置する無機絶縁（以下「MI」という．）ケーブルに対して必要となる，均一かつ高精度で，薄膜を実現するめっき技術の開発に成功した．

[開発の背景]

MFCは，ITERの核融合反応時に発生する中性子の発生量を計測し，核融合出力を評価する重要な中性子計測装置である．その大きな特徴は，小型のフィッションチェンバー検出器（核分裂計数管）を ITER 真空容器内に設置することである．核融合反応を起こす燃焼プラズマに近い位置に設置することで高精度の中性子計測が可能となる．一方，真空容器内は 350℃という高温（MI ケーブルの ITER運転時の最高到達温度）で且つ高い放射線線量にさらされるだけでなく，ディスラプションにより発生する強い電磁力など厳しい環境下にあるため，真空容器内に設置する機器は当該環境に耐える必要がある．このため，信号ケーブルとして，耐放射線性に優れ，高温環境下（約 350℃まで）でも利用できるMIケーブルを採用すべく，電磁力に耐えられるかなど，その適用性について，これまで解析や試験を通じて実証してきた．

これに対し，設計活動が進むにつれ，MFCのような真空容器内機器は新たな熱負荷環境に対応する必要があることが判明した．すなわちプラズマを加熱するために入射するマイクロ波の一部が真空容器自体や真空容器内機器を過熱する可能性があることが判明し，この場合，MIケーブルも過熱され健全性が保てる温度（約 350℃）を超え，1000℃近くまで上昇し破損する恐れが生じた．

この問題を解決する方法の一つは，マイクロ波の過熱を低減できる銅めっきを MI ケーブルに施すことだが，めっき厚が厚くなると，今度は電磁力の影響を受けやすくなるということが課題であった．このため ITER では，銅をMIケーブルに表面全長にわたって精度よく均一に薄膜（5ミクロン±1ミクロン）めっきすることが求められたが，MFCのMIケーブルのような比較的硬い線材に均一にめっきするという技術は，これまで存在していなかった．

[薄膜めっき技術の開発]

そこで，量研は，高いめっき技術を有する帝国イオン及び MI ケーブルの製作メーカーである岡崎製作所と共同で，新たなめっき技術の開発に着手し，**図 2** に示すような「回転式めっき装置」を開発した．この装置を使用することにより，保管・輸送時と同じ輪巻き形状（同じ曲率）でMIケーブルのめっきを施すことができるため，形状を変える必要がなく，同時に，めっき槽の小型化も実現している．また，当該装置を採用することにより，MIケーブルを螺旋状に巻く方式を採用できるため，1 メートル程度からどのような長さのMIケーブルでも，めっきを施すことが可能なった．さらに，回転方式，給電方法，極間距離の差異抑制方式，めっき液循環方式等に独自の工夫を取り入れ新たに開発した「めっき方法」を組み合わせることにより，MIケーブルの円周方向，及び全長にわたって偏りがなく，均一なめっきを施すことに成功した．

量研，帝国イオン及び岡崎製作所が開発した「回転式

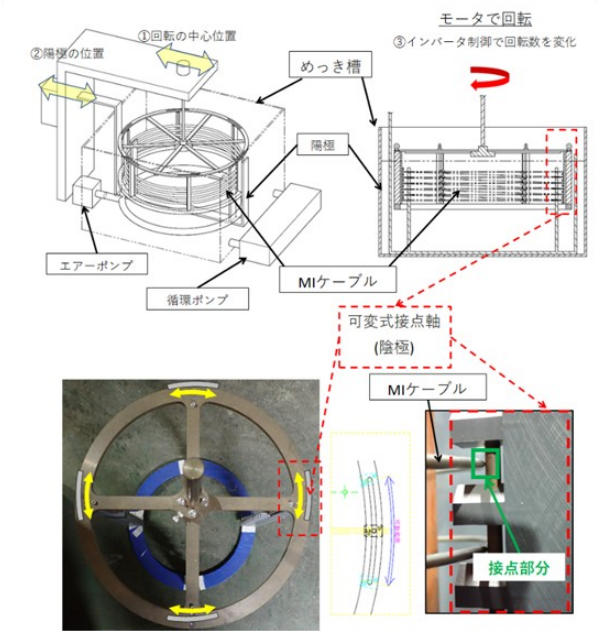


図2　新たに開発した「回転式ケーブル用めっき装置」の概略.

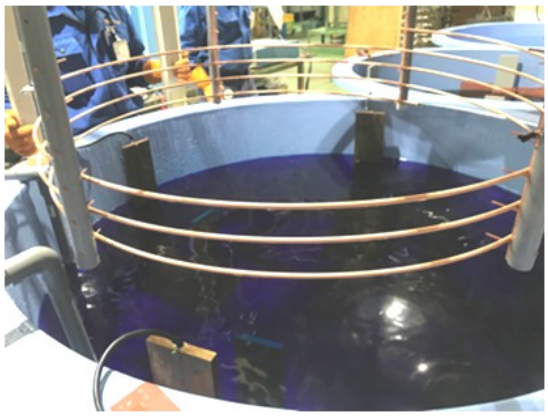
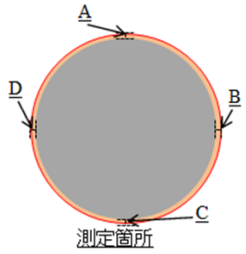


図3　実機相当のMIケーブルを用ITER実証試験時の様子.

めっき装置」および「めっき方法」を用いて行った均一化めっきの実証試験時の写真を**図3**に，めっき膜厚の測定結果を**図4**に示す．**図4**の左側はケーブル断面の模式図であり，A～Dは膜厚測定箇所である．右側の表は各測定箇所のめっき膜厚の結果を示したものである．A～Dのいずれの箇所でも膜厚は5ミクロン±1ミクロンの範囲に収まっており，ITERの要求値を満たす高精度銅めっきを実現することに成功した．外観においても，めっき中にケーブルを動かし，めっき液を攪拌することで，めっき液が均一となり，**図5**のようにボイド等の欠陥がない高品質な銅めっきを実現した．

[実機への適用]

今回開発しためっき技術を適用することにより，量研は，2022年度にITER機構に納入するマイクロフィッションチェンバー計測装置のMIケーブルの実機8本及びス



測定箇所	銅めっき膜厚（μm）
A	4.668
B	4.808
C	5.047
D	5.187
膜厚差	0.519

図4　めっき後のMIケーブルの銅めっき膜厚.

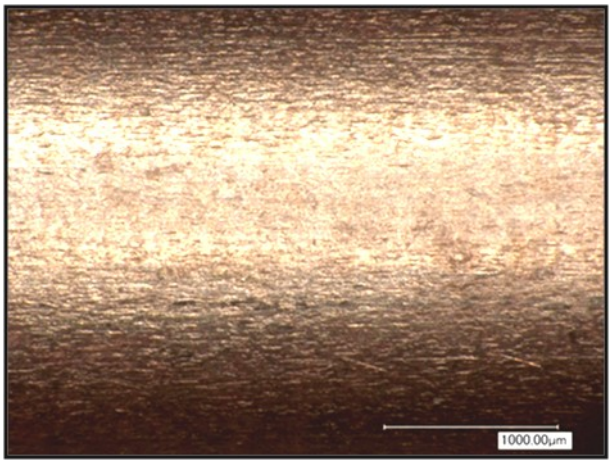


図5　銅めっき後のMIケーブルの表面拡大写真.

テンレス製の排気管4本の銅めっきを2022年3月に実施した．実施後の工場検査において，膜厚検査，表面検査等全ての検査項目に合格し，MIケーブル及び排気管の一連の製作活動が完了した．そして，計画通り，量研がITER機構に輸送する最初の計測装置構成機器として，2022年7月末までに本機器の納入が完了した．

[特許の取得]

今回，新たにめっき装置及びめっき方法を開発したことにより，これまで不可能とされていた，硬い線材に対し，全長にわたって高精度（膜厚が均一）かつ高品質（ボイドなどの欠陥のない綺麗な表面状態）なめっきを施すことが可能となった．本技術は，医療分野などで利用される粒子加速器の入射部品など，高精度のめっき厚が要求される分野にも適用可能であり，幅広い分野への波及効果が期待できる．そこで，量研は，帝国イオン及び岡崎製作所とともに，同技術に対する特許出願を行い，2021年6月に特許を取得した（特許第6893001号）．さらに，現在，海外特許の取得に向けて，手続きを進めているところである．

[プレス発表]

量研プレスリリース（5/27）
無機絶縁物を利用した硬質ケーブルの均一薄膜めっき技術を開発 ～ITER計測装置のみならず，加速器など高

周波環境下の幅広い分野への応用も期待〜
https://www.qst.go.jp/site/press/20220527-1.html
[新聞記事]
日本経済新聞（5/27）国際核融合炉向けにメッキ技術 帝国イオンなど開発
https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUF247XA0U2A520C2000000/

4. ITER向け中性子計測装置マイクロフィッションチェンバー(MFC)真空容器内機器の出荷及びITER機構での受入れ検査完了

量研では，ITER マイクロフィッションチェンバー（MFC）の開発を行っている．このうち，真空容器に設置する金属製の信号ケーブルである無機絶縁（MI）ケーブル，MFC 検出器に封入されたイオン化ガス漏洩時の検知及び排気のための排気管，そして，MI ケーブルと排気管を真空容器に固定するためのクランプの製作を2022年3月までに完成させ，これらの真空容器内機器をITER機構に向けて出荷した．

これまでに，量研ではITERの設置及び運転条件に適用可能とするための真空容器内機器の設計及び開発を進め，最終設計を完了させた後，真空容器内機器の製作を行った．MIケーブルの製作と加工はキヤノン電子管デバイス(株)が担当した．さらに，ITER真空容器内にMIケーブル及び排気管を設置するためには，均一薄膜の銅めっきを施す必要があり，帝国イオン及び岡崎製作所が，量研と共同で取得した特許技術を活かして，これを実施した．また，クランプは株式会社トヤマが製作加工を担当した．

製作が完了したMFC真空容器内機器は，一旦量研に納品された後，梱包を行い，7月1日に那珂研から出荷した（**図6**）．その後，輸送会社により海外輸送に向けて再梱包後した後，成田空港から出航し，7月20日にITER機構に納品された．ITER機構では，7月25日に開梱後，

図6　量研出荷時のMFC真空容器内機器．

図7　MIケーブルの目視検査．

図8　クランプの員数検査．

受入担当職員による受入検査が実施された．受入検査では，量研のMFC担当者立会いの下，目視検査及び員数検査が実施された．目視検査では特にMIケーブル及び排気管の銅めっきの状態が確認され（**図7**），員数検査ではクランプの構成部品に与えられた識別番号が量研出荷時に添付したラベルとITER機構が用意したラベルとで一致しているかどうかの入念な検査が行われた（**図8**）．その結果，全ての構成部品に対する確認が取れ，7月29日までに受入検査に無事に合格した．これにより，日本が担当するITER計測装置としての初の機器の輸送が完了し，重要なマイルストーンの一つを達成した．

（量子科学技術研究開発機構　量子エネルギー部門）

インフォメーション

ITERだより（96）

1. 臨時ITER理事会開催：ITER機構長にピエトロ・バラバスキ博士を任命

2022年5月に前機構長ベルナール・ビゴ氏が逝去したことを受け，ITER理事会は彼の後継者を選出するための調査・採用活動を開始した．2022年9月15日にパリで開催された臨時会合で，ITER理事会は最終候補者との面接を行い，全会一致でピエトロ・バラバスキ博士をITER計画のリーダーとして選出した．

また，理事会は，この過渡期に暫定機構長を務めた多田栄介博士に謝意を表した．

2. ITER機構の新型コロナウイルス対策

2022年10月5日時点におけるフランス国内のコロナ関連情報とITER機構内の感染対策状況について報告する．

フランスにおけるコロナ対策はすでに大きく緩和されており，日常生活が戻りつつある．屋内外でマスクをすることは義務とはなっておらず，スーパーやレストラン等の施設においてマスクをしている人は少ない．公共交通機関使用時のマスク着用義務も5月に撤廃されている．医療機関や高齢者施設でのマスク着用義務も解除さているものの，こうした機関では引き続きマスク着用が強く奨励されている．感染が疑われる場合には，外出を控えて他人との接触を避け，その上で医師の指示に従うとのことである．その場合でも，症状がひどくなければ自宅待機となる．陽性が判明したら（多くは普通の薬局で市販されている検査キットを使用して判定），ワクチン接種済みなら7日間待機，PCR検査または抗原検査で陰性と48時間以内に症状がない場合は5日間の待機期間でよい．このように体調不良時の対応は，各個人の健康管理に委ねている格好である．また，フランス入国の際の水際対策は全廃されており，人の動きも活発化し，筆者（ITER機構駐在）の感覚としてはほぼ日常生活に戻っているように思う．

上述のルールのもと，ITER機構ではオンライン会議がデフォルトであるものの，必要性に応じて対面の打合せも始まり，多くの人が集まる昼時の食堂においても他人との間に距離を大きく取ることやマスク着用の要求はない（マスク着用は奨励）．ただし，手洗い，咳エチケット，可能な場合は素手でのドアの開閉を避ける等の基本的な健康管理には気を付け，健康不安がある場合には出勤を控えるのはもちろん，必要であればマスク着用が推奨されている．また，感染対策の一環としてテレワークも引き続き認められている．ITER通勤バスにおいてもマスク着用の要求はないが，スペースをとって座れない場合などはマスク着用が奨励されている．ビジターについては，コロナの症状がないこと，2週間以内に陽性者との接触がないことを確認するように要求されていることは気を付けておきたい．

このようにITERプロジェクトは日常を取り戻しつつコロナ前の活動に近づいており，プロジェクト成功に向けて引き続き進んでいる．

3. オンラインイベント「ペーパークラフトで核融合炉を作ろう」を開催

2022年8月26日19時よりYouTubeプレミア公開によるオンラインイベント「ペーパークラフトで核融合炉を作ろう」を開催した（**図1**）．

YouTubeプレミア公開は，指定した時間に動画を公開し，発信者と視聴者が同時に視聴しながら，チャットを通して交流できるという特徴がある．今回のイベントは，これまでのイベント開催後に多く寄せられた「自由にチャットをしたい」「リアクションをとりたい」などの要望を反映させたものである．

このイベントでは，核融合の仕組みと共にITER Japan

図1　オンラインイベントバナー．

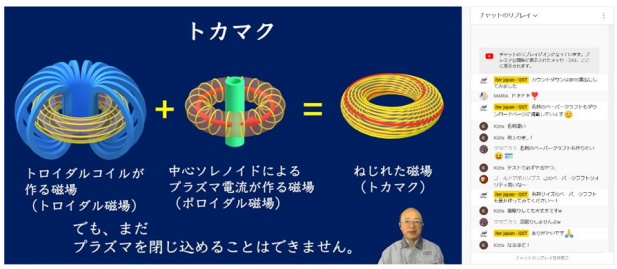


図2　オンラインイベントの様子（チャットを通して参加者と

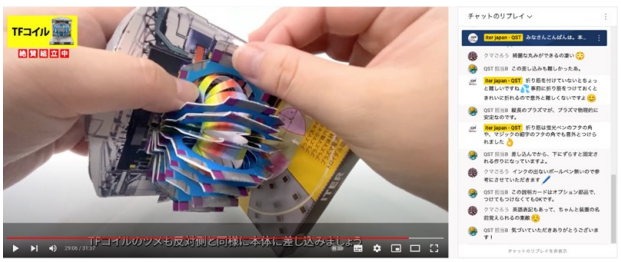


図3　オンラインイベントの様子（ペーパークラフトの作り方紹介）．

が制作したペーパークラフトやイラストを用いながら，核融合炉でプラズマを閉じ込める方法やITERの仕組みについて解説した．（**図2**，**図3**：イベントの様子）

ペーパークラフトをイベントの題材として初めて取り上げたことで，SNS上で「初めて知った」「こんなのあったんだ！」といったコメントをいただくなど，ITER Japanが制作する広報活動用コンテンツを知っていただく機会にもなり，ITER Japan Webサイトの「作ってみよう！ペーパークラフト」のページは通常時と比較し倍以上の方に訪問していただくことができた．

YouTubeプレミア公開を利用することで，視聴者と発信者はもちろん，視聴者同士がコミュニケーションをとることができ，リアルタイムに同じタイミングで笑ったり，つっこみが入るなど，終始，活発なチャットのやり取りが行われ盛り上がりを感じることができた．リアルタイムと終了後のセミナー動画の視聴者を合わせて，5週間で約400人の方にご覧いただいている（10月6日現在）．

核融合・ITERの認知度向上につながるよう，今後もセミナーの企画・実施を進めていきたい．

本件のオンラインイベントの動画は，以下のITER Japan公式YouTubeチャンネルにて公開しているので，参照していただきたい．

イータージャパンYouTubeチャンネル
https://www.youtube.com/c/iterjapanQST
オンラインイベント「ペーパークラフトで核融合炉を作ろう」動画URL
https://youtu.be/PMckfQIse3Q

4. ITER機構職員募集動向とインターンシップ2023募集

2022年8月末現在のITER機構職員は1050名であり，そのうち日本人職員は38名（専門職員34名，支援職員4名）である．職員の上限は1050名となっているが，昨年6月のITER理事会にて上限を越えた120名の増員が承認された．この増員に伴う新規採用のピークは2023年までであり，それ以降の職員公募は，退職に伴う空きポストの補充，建設から運転への移行に伴う人員再配置による公募など，少数になると予想される．量子科学技術研究開発機構（以下，量研）では，応募書類のアドバイスや添削，さらに書類選考を通過した応募者には，面接試験のトレーニングを行っている．さらに，オンライン説明会を開催し，ITER機構職員により，応募動機，業務内容（やりがい，業務ポイント，一日の流れ），英語での業務などについて説明した．今後もITER機構職員に実際のITER機構での業務の説明などを計画しているので，是非参加していただきたい．

図4　インターン生を囲んで（2019年）．

2023年のITER機構インターンシップの公募は11月末頃から行われる．公募される70～120程度のテーマの中から5つまでのテーマに応募することができる．今回の公募は，カテゴリーS（博士課程の学生）にも手当が支給されること，カテゴリーA（修士課程の最終学年）の応募資格に変更が行われるなど，応募要領が変更されるので，公募情報に注意していただきたい．日本からは2018年に5名，2019年に6名，2020年に2名，さらに，2022年には4名のインターンがITER機構職員として活動した（**図4**）．量研ではインターンの公募支援を行っているので，問い合わせていただきたい．

ITER機構職員公募案内
https://www.fusion.qst.go.jp/ITER/staff/jobs.html

（量子科学技術研究開発機構　量子エネルギー部門）