

## 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機構のベルナル・ピゴ機構長及び多田栄介副機構長からの「ITERの建設状況」、岩瀧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機構のピ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ピゴ機構長，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/8vPFiGIf3U>

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](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

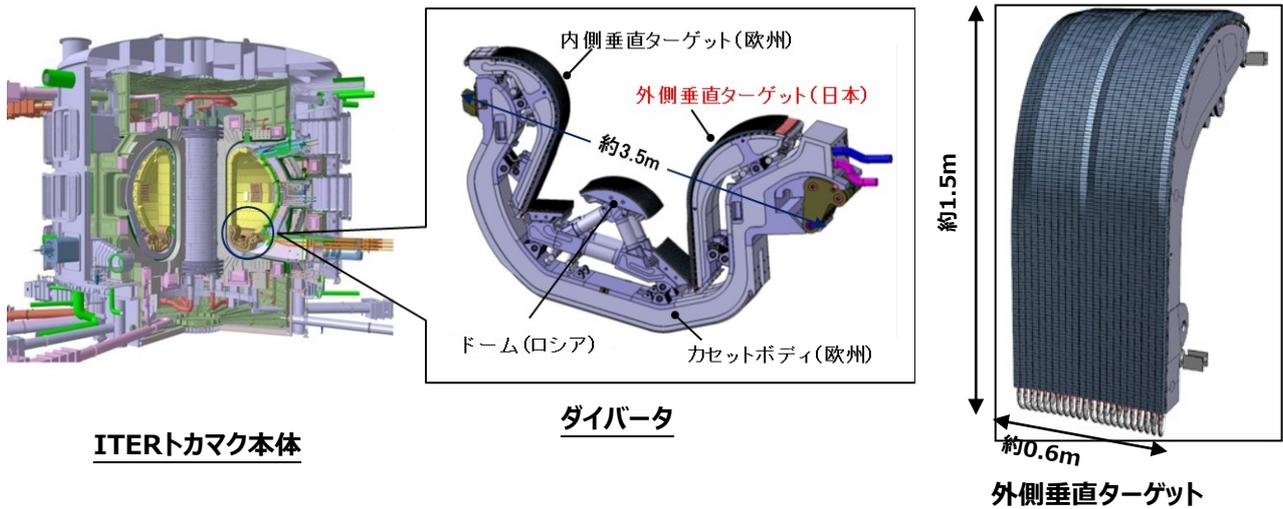


図2 ITERにおいて用いられるダイバータの構成要素の一つである外側垂直ターゲット。

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  $20 \text{ MW/m}^2$  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utting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、Cutting Edge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



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

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。

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 $\mu\text{m}$ )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:  $5.0 \times 10^{16} \text{ n/cm}^2$ )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 $\mu\text{m}$ 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

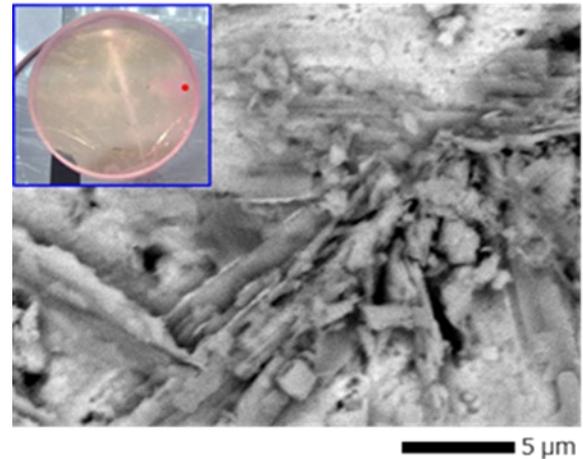


図5 ガンマ線照射後のZnSeサンプル表面の層状電子顕微鏡画像。

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 $\mu\text{m}$ 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 $\mu\text{m}$ 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 $\mu\text{m}$ 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 $\mu\text{m}$ 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乘った（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（±3mm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 思考で考える一核融合エネルギーが実現する未来社会とは一』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 思考で考える一核融合エネルギーが実現する未来社会とは一」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

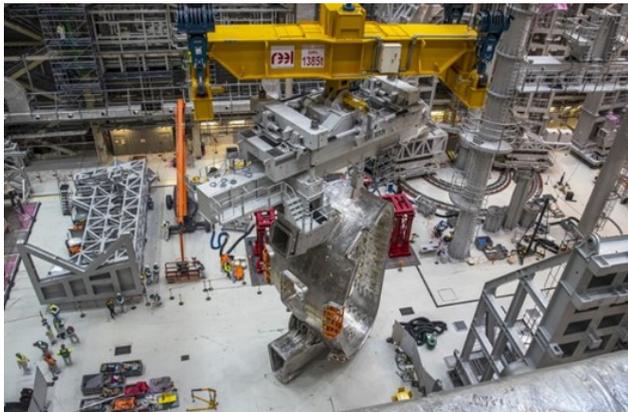


図6 二つ目のサブセクター#7の組立開始。



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の良い機会となった。

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。

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](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。



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)。

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くとありがたい。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](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](mailto: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)