

1. ITER ブランケット遠隔保守システムのための配管溶接ツール及び複合ケーブル送給制御技術の開発

2023年12月14日～16日に新潟県にて開催された第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2023) において、ITERプロジェクト部遠隔保守機器開発グループはITERブランケット遠隔保守システムの構成要素の一部である配管溶接ツール及び複合ケーブル送給制御技術の開発の2分野において優秀講演賞を受賞した。

ITERが将来、核融合反応を達成すると、真空容器内部は発生する中性子により高い放射線環境になるため、人が中に入って作業することができなくなる。人の代わりに、巨大なロボットアームである大型マニピレータなどの装置が真空容器内のブランケット（第一壁及び遮蔽ブロックから構成）の保守交換作業を遠隔操作にて行うことになる（図1）。今回受賞したどちらの技術も、この遠隔装置の運転を支える重要な技術である。

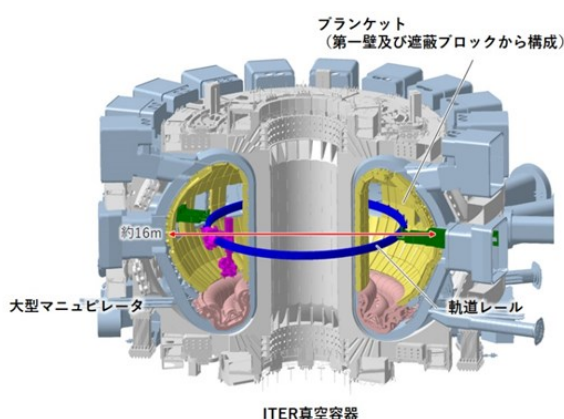


図1 ITER ブランケット遠隔保守システムの概要.

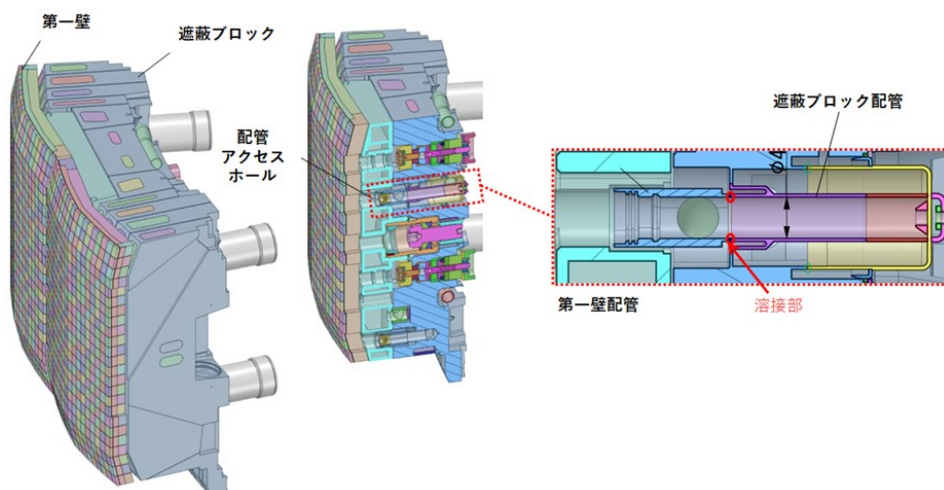


図2 ブランケットモジュール構造.

配管溶接ツールは、真空容器内のブランケットの保守交換の際、第一壁と遮蔽ブロックの間を通る冷却水用配管の溶接に使用する。本ツールを用いて、ブランケット内（図2）の奥まった狭い部分に配置された冷却水用配管同士を精度よく位置合わせし、配管全周を均等に溶接することで、核融合反応時の高熱、衝撃や冷却水通過時の水圧を受けても破損や漏水しない溶接強度が確保できる。一連の開発では、試作機にてこれら配管の位置合わせや溶接技術の有効性を確認するとともに、溶接品質に影響を及ぼすパラメータを明確にした。

一方、複合ケーブルは、真空容器内の大型マニピレータに外部から電源を供給し、遠隔操作の信号を伝達する役割を担う。このため、約600芯からなる直径75mmの大径複合ケーブルは滞りなく送給される必要がある。一連の開発では、実機相当の模擬試験装置を製作し（図3）、ケーブル送給手順を調整した上で、システム全体を通じたケーブル張力の軽減により断線や乱巻を防止し、スムーズな送給を実現した。

遠隔保守機器開発グループは今後、配管溶接ツールの更なる開発に加え、配管切断ツール等、その他の遠隔保守ツールの開発を進める。一方、ケーブル送給制御技術については自動化に取り組み、操作労力軽減と作業効率向上を図る。これらを通じてブランケット遠隔保守システムを円滑に調達し、ITERプロジェクトへの貢献を目指す。

2. ITER ダイバータ垂直ターゲット受熱部プロトタイプがITER機構による認証試験に合格し、実機製作を開始

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向けのダイバータ外側垂直ターゲット（以下、OVT）の実規模大プロトタイプ及び実機の製作を進めている。この度、三菱重工業（株）とともに

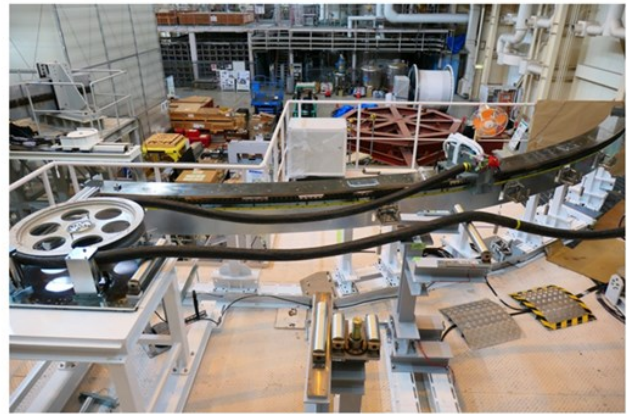
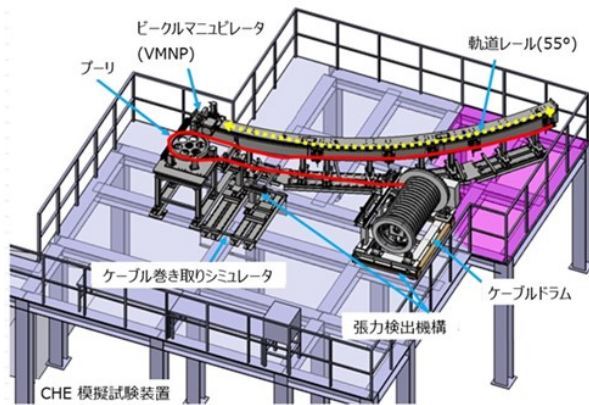


図3 実機相当の複合ケーブル送給制御の模擬試験装置.

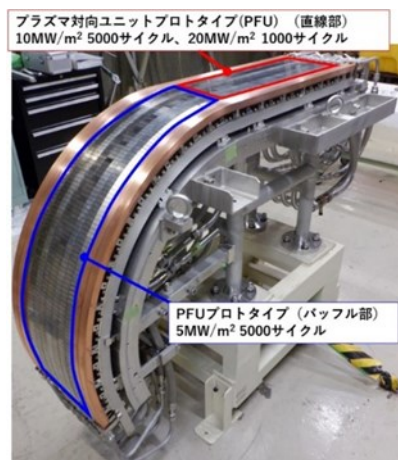


図4 高熱負荷試験用PFUプロトタイプの外観.

製作したITERダイバータの受熱部であるプラズマ対向ユニット（以下、PFU）プロトタイプがITER機構による繰り返し高熱負荷試験に2023年6月に合格し、PFU実機の製作を開始した。

本試験は実機と同じ材料、製造・検査工程で製作したPFUプロトタイプに対して高熱負荷試験を実施し、ITERダイバータ条件と同等の繰り返し熱負荷に対する異材接合や冷却管の耐久性等、除熱性能を実証するITER機構によるPFU製作に対する最終認証試験の位置付けである。

PFU1本当たり140枚のタングステン・ブロックと冷却管の異材間接合技術開発やタングステン間ギャップ要求公差の達成等の様々な問題解決の末、量研は三菱重工とともに2020年2月から3年かけてPFUプロトタイプ8本を製作した（図4）。

高熱負荷試験はITER機構が委託した国外の高熱負荷試験装置において行われ（図5）、ITERダイバータの運転条件に合わせて、最も熱負荷が厳しい部分である直線（ターゲット）部に対して、10 MW/m²を5000サイクル及び20 MW/m²を300サイクル照射する。また、湾曲（バッフル）部に対して、5 MW/m²を5000サイクル照射する。さらに、接合部や冷却管の耐久性が十分であることを確認するために、直線部に対して20 MW/m²を700サイク

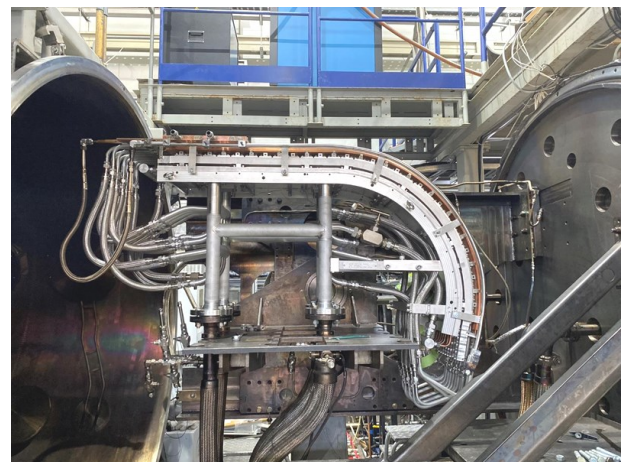
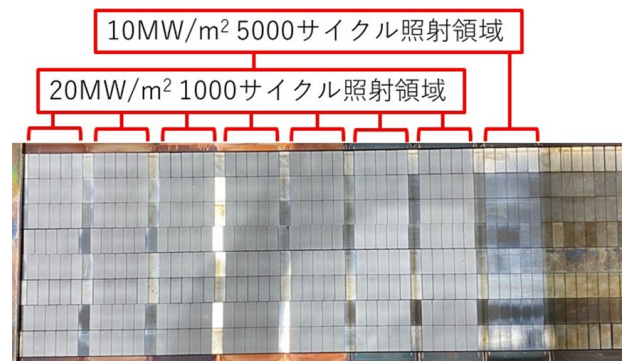


図5 ITER機構による国外での高熱負荷試験装置へのセッティングの様子.

図6 PFU直線部における高熱負荷試験 10 MW/m² 5000 サイクル及び 20 MW/m² 300 サイクル後の写真.

ル追加し、合計で1000サイクル照射した。本試験の結果、PFUプロトタイプにおいて、冷却管からの水漏れや徐熱性能の劣化が生じなかった（図6）として、ITER機構からPFU製作認証に関して合格と判定された[1]。

本PFUプロトタイプ及び実規模大OVTプロトタイプ[2]の製作で得た経験や知見を生かし、量研と三菱重工はITERダイバータ外側垂直ターゲット実機製作の製作工程

を確立し、PFU 実機製作を開始した。

- [1] 関 洋治, 「特集 核融合実験炉 ITER 建設最前線: ダイバータの開発と調達の現状」, 日本機械学会誌 2024/3 Vol.127 (<https://www.jsme.or.jp/kaisi/1264-26/>).
- [2] ITER だより 100 号, 「最終受入試験を迎えた ITER ダイバータ垂直ターゲット (OVT) プロトタイプ」.

3. 第 30 回 ITER 企業説明会を開催

2024 年 3 月 5 日に第 30 回 ITER 企業説明会をオンラインで開催した (図 7). 本説明会は核融合研究の動向, ITER 調達機器の概要や今後の調達予定を紹介し, 産業界の皆様へ参画を検討していただくために年 1 度開催している. 今回は, 例年ご講演いただいている文部科学省に加え, ITER 機構, JT-60SA, 核融合原型炉の各担当者にもご講演いただいた.

まず, 犬塚恵美内閣府科学技術・イノベーション推進事務局参事官 (統合戦略担当) 付主査 (核融合担当) / 文部科学省研究開発局研究開発戦略官 (核融合・原子力国際協力担当) 付係長から, フュージョンエネルギー・イノベーション戦略～我が国における核融合研究開発の展望～と題してご講演いただいた. フュージョンエネルギーの早期実現を目指した今後の方針として, ITER や JT-60SA の研究開発で培った技術や育成された人材, 国際連携を最大限に活用し, 原型炉に必要な基盤整備を進めていくと述べられた. また, 令和 6 年度中に設立を目指している核融合産業協議会とも連携し, 固有の安全性等を踏まえた安全確保の基本的な考え方の策定や関連産業の発展に向けて取り組みを加速させていくと説明された.

続いて, 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. さらに, 量研からダイバータ, 中性粒子入射加熱装置, 計測機器, テストブランケットモジュール, トリチウム除去系, JT-60SA, 核融合原型炉の各担当者が今後の調達及び研究活動を説明した. このほか, ITER 建設サイト内

に設置しているリエゾンオフィスからも ITER の建設状況を紹介した.

また, ITER 機構の調達担当者は, 調達プロセス並びに 2024 年の調達予定案件を紹介され, ITER 機構の調達にもぜひ参加をご検討いただきたいと述べられた.

今回の ITER 企業説明会は, ITER の調達機器の説明だけでなく, JT-60SA, 核融合原型炉の研究開発, ITER 機構による調達に関する説明を行ったことで, 多くの方にご参加いただいた. 引き続き核融合研究及び ITER の建設に対して, 産業界の皆様からご理解・ご支援が得られるよう量研では参画推進活動を実施していく.

4. 東芝未来科学館イベント『科学実験工房』でのアウトリーチ活動

2024 年 3 月 30 日, 日本が調達責任を有する TF コイル製作を始め, ブランケット遠隔保守装置の開発や中性子計測システムの開発に参画をしている株式会社東芝が運営する東芝未来科学館 (川崎市) にて, 小学生 (3 年生～6 年生) を対象に ITER 計画及び核融合に関するアウトリーチ活動を行った (図 8, 9).

今回は, 核融合エネルギーの原理や ITER プロジェクトの紹介, 将来核融合発電で電力を供給するために研究開発を進めていることを説明した後, ITER に使われている技術に関連した 2 つの実験工作を行った.

核融合炉にも必要不可欠な磁石の力を実際に体験し



図 8 東芝未来科学館でのイベント「核融合でエネルギーを作り出すイーターを学ぼう!」の様子。



図 9 磁石の力を利用した実験。



図 7 第 30 回 ITER 企業説明会開催の様子。

てもらうためにモーターの仕組みを学ぶ工作を行い、コイルが作る「磁界」やITERでは磁界でプラズマを閉じ込めることなどを学んでもらった(図8)。次に、偏光板を使った実験工作を行い、身の回りにある光の性質を体験し、この性質を利用して核融合のプラズマを計測する機器を開発していることなどを学んでもらった。

イベントには児童37名、保護者30名、計67名の参加があり、質疑応答の時間では、ITERは現在何%が完成していて、いつ頃完成するのか等ITERに関する質問だけではなく、核融合反応に興味を持った参加児童から太陽に関する質問やイベント終了後にも質問をする児童の姿も見られ、核融合エネルギーへの関心の高さを感じることができた。

今回の説明会では、小学生のみなさんに科学のおもしろさや奥深さを感じていただき、さらには核融合研究にも興味を持っていただけるイベントとなった。核融合エネルギーの実現には、将来研究を担ってくれる若い世代の人材が必要となるため、研究者を目指すきっかけや核融合研究の未来につながるような広報活動を続けていきたい。

5. ITER 機構 鎌田副機構長執筆の核融合特集記事の紹介

ITER 機構 鎌田副機構長監修(執筆 福田伊佐央氏)の核融合特集記事が、月刊科学雑誌 Newton2024 年 4 月号の第2特集「実用化への段階を確実に進む 核融合アップデート」と題し10ページにわたり掲載された(図10)。那珂フュージョン科学技術研究所の核融合実験装置JT-60SA、日本が調達を担当するITER装置の部品(ジャイロトロン、中心ソレノイド、トロイダル磁場コイル)、

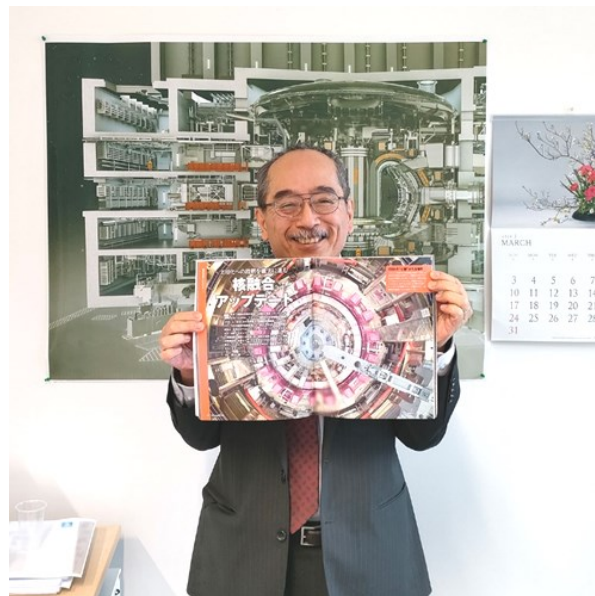


図10 記事を監修したITER機構 鎌田副機構長。

核融合実験炉ITERの建設の進捗状況、日本や世界の核融合研究の歩み、核融合発電の実用化を見据えた動きについて説明されている。核融合エネルギーについて興味がある方はぜひご一読いただきたい。

科学雑誌 Newton 2024 年 4 月号(バックナンバー)

https://www.newtonpress.co.jp/newton/back/bk_2024/bk_202404.html

(量子科学技術研究開発機構 量子エネルギー分野)