

ITERだより (77)

1. ITER用170 GHz - 1 MW ジャイロトロンの2機目の完成検査を終了

ITERでは、電磁波でプラズマを加熱する電子サイクロトロン加熱・電流駆動 (ECH/ECCD) システムの中核となるジャイロトロン(電磁波発生装置)を24機使用する。電磁波によるプラズマ加熱の原理は電子レンジによる食品の加熱と同じであるが、電子レンジが周波数2.45 GHz、出力 600 W なのに対して、ITER ジャイロトロンは 170 GHz、1 MW である。日本、欧州、露、印により 24 機のジャイロトロン調達を分担するが、日本国内機関である量子科学技術研究開発機構(以下、量研)は、170 GHz - 1 MW ジャイロトロン 8 機の製作を進めており、2018 年 2 月までに 4 機を完成(図 1)、2018 年 10 月には 1 機目の完成検査を終了させ(ITERだより(72)参照)、その後も 2 機目の完成検査を進めてきた。完成検査における要求性能は、

- ・ 1 MW - 300 秒、電力効率 50% 以上
- ・ 1 MW - 300 秒、電力効率 50% 以上のショットで成功率 90% 以上 (20 ショット中 18 ショット以上)
- ・ 0.8 MW 以上及び 60 秒以上で、1 ~ 5 kHz の出力変調運転

である。図 2 左に 1 MW - 300 秒の運転波形(上から順に、ボディ/アノード/カソード電圧、ビーム電流、出力)、右にビーム電流に対する出力及び電力効率のグラフを示す。安定した連続動作、及びビーム電流 30 A 以上におい



図 1 ITER ジャイロトロン実機。左：2 機目の試験セットアップ、右：1, 3, 4 機目。

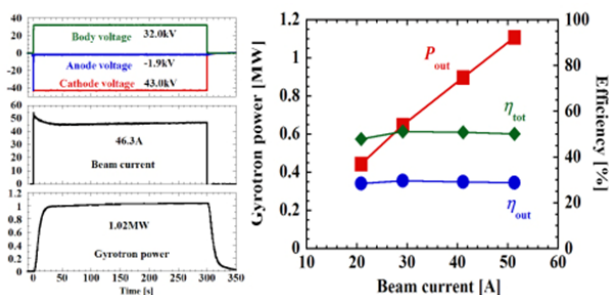


図 2 完成検査データの一部。左：1 MW - 300 秒波形、右：ビーム電流 vs 出力、効率。

て電力効率 50% 以上で安定に動作することを確認した。また、繰返し率(高周波発生 ON/OFF の時間の比率) 25% で 1 MW 出力/300 秒間/電力効率 50% 以上の 20 回連続運転で成功率 95% を実証した。さらに、出力変調運転でも要求性能を満足し、2019 年 7 月にその結果を ITER 機構へ報告してジャイロトロン 2 機目の完成検査に合格した。

2. 量研理事長表彰：核融合炉のためのレーザー偏光計の研究

量研では、プラズマを閉じ込める磁力線のねじれ量であり安定性の指標である安全係数を、レーザー偏光計で高精度に計測する手法をソフトウェア・ハードウェアの両面から研究を行っている。その研究成果を用いて、レーザー偏光計を従来の研究室規模から ITER の規模にスケールアップし、日本が調達を担当する ITER ポロイダル偏光計に適用した。レーザー偏光計では計測データをトモグラフィ処理することで、安全係数分布を得る。ITER のプラズマは、従来よりも高温、高密度で大体積(JT-60U の約 8 倍)であるため偏光の変化が複雑化(ファラデー効果とコットン・ムートン効果がカップリング)し、測定誤差が増大することが課題となっていた。従来無視してきた偏光の楕円化も測定するとともに、他の計測器で測定した電子密度及び電子温度の 1 次元分布を計算の中に組み込むことで高精度な安全係数評価を可能にした(誤差が 15% 以上低減)。また、偏光の楕円化を高精度かつ外乱に影響を受けないように測定するために、回転波長板方式を世界で初めて導入し、2 ms の時間分解能を有するこれまでにない実時間計測システムを完成させた。これらのソフトウェア・ハードウェアの設計は、ITER 機構が開催する設計レビュー会合において審査され、ITER ポロイダル偏光計の設計として承認されている。

従来のレーザー偏光計は安全係数が電子密度のどちらか一方しか測ることができなかったが、安全係数に加えて電子密度及び電子温度の分布も同時に測定可能となる

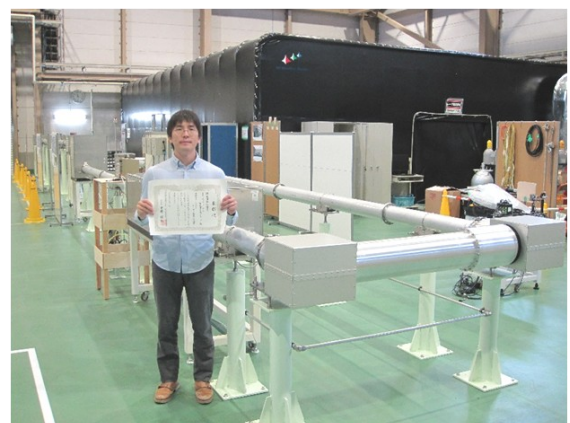


図 3 令和元年度 量研理事長表彰(研究開発功績賞)を受賞した際の今澤主幹研究員。

画期的な評価手法を新たに開発した。本手法を適用するには、レーザー偏光計の測定データ（偏光面の回転と楕円化）以外に、最外殻磁気面の位置形状だけが既知であれば良い。そのため、設置できる計測装置の数に限りのある将来の核融合炉にとって重要な手法として国内外で高く評価されている。

以上の「核融合炉のためのレーザー偏光計の研究」に関する成果で、今澤良太主幹研究員らが令和元年度 量研理事長表彰（研究開発功績賞）を受賞した（図3）。

今後も核融合エネルギー実現に向け、更に研究開発に精進していく。

3. ITER 機構中央統合本部長への着任報告

吉田篤司, Head of Central Integration Office, ITER Organization

5月15日にITER機構（IO）の中央統合本部長（Head of Central Integration Office）に着任して、約2カ月が経過した。当職の責務は、システムズエンジニアリング、物理的・機能的設計統合、機器構成管理、設計取合管理、設計図書管理、などの設計管理を実行する組織の運営である。よって、IOのエンジニアリング部門ならびに国内機関を横断的に取りまとめることが要求される。そのうえで、複雑かつ大規模であることを特徴とするITERプロジェクトにおいては、物理的・機能的設計統合と機器構成管理に期待される結果を着実に出していかねばならない。

職場においては、そもそもプロジェクトが複雑かつ大規模であり、さらには人類初の核融合実験炉建設特有の要因もあり、山あり谷ありという局面も多々ある。しかし、関係者の間でプロジェクトの大きな目標が共有された環境で、Bigot 機構長の強いリーダーシップの下、ITER Values*を行動基準とする同僚・部下、そして国内機関の方々と手を携え、前進する努力を、日々、していくところから本物のやり甲斐なり達成感が出てくるものと考えている。

こちらでの生活について言えば、若い頃からフランスの芸術に関心があったため、フランスに住んでいること自体に感激しているのであるが、美味な食物やワインが、手頃な価格で日常的に手に入ることを第一に申し上げたい。南仏という場所がら、陽光をたっぷり浴びた地元産の野菜や果物はもちろん、地中海の魚類もなかなか良い。地中海産のマグロは、日本では冷凍モノであるが、こちらでは生で手に入る。欧米人あこがれのプロバンスの生活はもとより、Aix-en-Provenceに住居を構えれば、フランスの優雅な都市文化に浸ることもできる。近隣にはWhere to goも随所にある。ITERがCoteaux de Pierrevetという良質なロゼワインの産地に立地していることも頭の片すみに入れていただきたい。

以上のような、仕事・生活の均衡と充実は、当職の個人的見解にとどまらずIO日本人職員に共通した感想と思う。本稿に目を通したことが、人類の未来を切り開くITERプロジェクト参画へのきっかけになれば、幸いである（図4）。



図4 ITER機構中央統合本部長 吉田篤司氏。

* ITER Values: “ITER Organization Code of Conduct”（ITER行動規範）で定められたITER機構職員が従う基準であり、Diversity and Inclusiveness, Trust, Team mind set, Loyalty, Excellence, Integrityについて示されている。

4. 第6回日中韓 ITER 国内機関技術会合

日本、中国、韓国による第6回日中韓ITER国内機関技術会合が、8月1日～2日に韓国ソウルのプレジデントホテルにて開催された。各国の政府関係者も含め、会議には日本、中国、韓国からそれぞれ、13名、15名、14名が出席した（図5）。会合では設計・製作が進んでいる各国の調達機器についての最新状況の報告と、技術課題や調達管理上の課題に関する議論が行われた。

冒頭に会合の主催者である韓国科学情報技術部のJee課長より挨拶があり、3カ国の国内機関の協力の重要性を強調し、それがITERプロジェクトの推進に大きく貢献することを表明された。また、文部科学省の新井知彦研究開発戦略官（核融合・原子力国際協力担当）からは、韓国への会合開催の謝辞と、3カ国の協力が、2025年に予定されているITERのファーストプラズマ達成を導くことが強調された。

続く技術的議論では、先ず各国の国内機関長から最新の進捗の報告があり、中国からは、政府が全力を上げて核融合開発を推進しており、ITERと次期装置China Fusion Engineering Test Reactor（CFETR）に特に注力していること、日本からは逐次の製作体制に移行したTFコイルの製作進捗状況、イタリア・パドバで建設中のITER中性粒子入射加熱装置実機試験施設用に日本が製作した高電圧電源機器の据付が終了し耐電圧試験を開始したことなど、韓国からも大型機器の真空容器やTFコイルと真空容器のアセンブリングツールなどの製作進捗の報告があった。また、ブランケットとダイバータ技術、コイルや真空容器などの構造物、超伝導コイルと導体技術、及び計測技術に関して、固有の課題とその対処について発表と議論が行われた。

本会合は、各国の機器製作で遭遇する技術的な課題のみならず、品質管理等の管理上の課題や、プロジェクト推進上の課題についても議論し共有化しており、必要に



図5 第6回日韓ITER国内機関技術会合の参加者。

応じて3カ国で、プロジェクトを取りまとめているITER機構への共同提案の作成も会議直後に行っている。今回も機器の輸送や保管、文書承認メカニズム等に関する共通課題の解決等について、共同提案する準備を進めることで合意した。

次回の会合は2020年に中国で開催する予定である。

5. 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。その活動の一環として、7月10日～12日に横浜で開催された第14回再生可能エネルギー世界展示会&フォーラムに出展した(図6)。

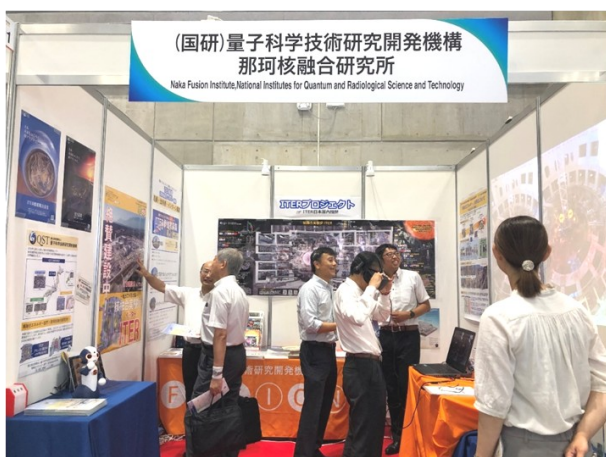


図6 第14回再生可能エネルギー世界展示会&フォーラム展示ブースの様子。



図7 出展者プレゼンテーションの様子。

量研のブースには3日間を通してエネルギー問題に関心が高い約300名の来訪者があったが、核融合エネルギーをご存じない方も多く、核融合発電の仕組みやフランスに建設中の核融合実験炉ITERについて熱心に聞いていただいた。また、ブースで配布したITERを題材にした漫画は非常に好評であり、ITERに興味を持っただけの良い機会の一つとなった。さらに、展示会場内に設けられた出展者プレゼンテーション会場において、核融合研究の概要を説明し、より多くの方に核融合エネルギーをご理解いただくことができた(図7)。

今回の出展を通して、核融合研究やITER計画は一般的に認知度が低く、認知度向上を図るための活動がまだまだ必要であることを改めて認識した。今後もこのような広報活動を行い、核融合エネルギーを幅広い分野の方々に知っていただき、理解を深めていただけるよう活動を続けていく。

(量子科学技術研究開発機構 核融合エネルギー部門)