

BA活動の現状と今後の展望 Present status and future plan of the BA activities

花田 磨砂也
Masaya Hanada

量子科学技術研究開発機構
National Institutes for Quantum Science and Technology

1. 初めに

核融合に関するより広範な取組みを通じた活動 (Broader Approach, BA) は、核融合の早期実現に向けて、イーター計画への支援とともに、発電実証を行う原型炉を見据え、日・ユーラトム (欧州原子力共同体) 間で実施する国際共同研究開発プロジェクトである。2007年2月に、「核融合エネルギーの研究分野におけるより広範な取組を通じた活動の共同による実施に関する日本国政府と欧州原子力共同体との間の協定」の署名が行われ (共同発表)、その後、同年6月1日に同協定が発効した。活動の具体的な内容は以下の通りである。

1. 原型炉に必要な高強度材料の開発を行う施設の設計・建設を行うための、国際核融合材料照射施設に関する工学実証及び工学設計活動 (IFMIF/EVEDA)。
2. 原型炉の概念設計及び研究開発、ITERの遠隔実験研究、核融合計算シミュレーション研究等を行うための、国際核融合エネルギー研究センター (IFERC) の建設。
3. 臨界プラズマ試験装置JT-60を超伝導化改修し、ITERの運転シナリオの検討や先進的なプラズマ物理研究等を実施するための、サテライト・トカマク (JT-60SA) 計画。

現在BA活動は、2020年3月、「幅広いアプローチ (BA) 活動の更なる共同による実施に関する日欧政府代表による共同宣言」が署名され、核融合エネルギーの研究開発を一層発展させていくことについて日欧政府間で合意し、活動を継続している。

2. 活動の進展

2.1 IFMIF/EVEDA活動

本活動では、125mA, 9MeV重陽子ビーム加速を実証することを開発目標としており、入射器、高周波加速器 (RFQ)、超伝導加速器 (SRF) からなる原型加速器 (LIPAc) の開発を段階的に実施している。

本加速器の特長は平均ビーム電流が従来の線形加速器よりも2-3桁高い点であり、空間電荷効果によるイオンビームの拡がりや抑制しながら、高エネルギービームを生成する点である。

2019年までに、RFQにおいて5MeV 125 mAのビームを実現しており、2020年からは5MeV, 125 mAの定常生成 (CW) に向けた開発を実施している。主要な結果は以下の通り。

- ・入射器の調整やコンディショニングを実施し、約150mA, 100keVのイオンビームを定常で生成。
- ・高周波加速器 (RFQ) に対して、高周波システムの安定化のための増幅器の改良などを行い、重陽子ビーム加速に必要な定格 (電圧: 132kV, 電力: 640kW) の80%の電圧で定常 (CW) 動作に成功し、高周波加速器システムが定常動作することを実証した (図1)。
- ・新たにビーム輸送系を±0.2ミリの精度で設置し、高周波加速器から入射されたイオンビームが、約36m先のイオンダンプまで、設計通りに通過することを確認。

2.2 IFERC活動及び原型炉に向けた開発研究

IFERC活動における主な成果は以下の通りである。

- ・プラズマの理論・シミュレーション研究については、従来のペレット入射時の核融合プラズマシミュレ

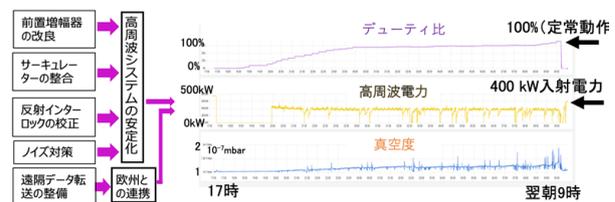


図1 RFQ システムのトレンドグラフ。
上段：デューティ比、中段：高周波電力、
下段：RFQ 内圧力

ーションコードを改良し、プラズマ雲の磁場を横切る輸送を新たに考慮した。コード改良後の計算結果は実験結果(DIII-Dの模擬実験)を再現した。本結果により、イーターにおけるディスラプション緩和装置(DMS)の設計に大きく貢献した。

- ・低放射化フェライト鋼F82Hの20万時間までのクリープ線図を初めて取得した。その結果、機械強度の設計裕度が約10倍となることが分かった。
- ・遠隔実験参加に関するITER機構との共同研究に基づき、ITER-REC間専用高速回線を用いて、QST六ヶ所研遠隔実験室から実際のITERサイト設備間のライブモニタリング試験を開始した(図2)。

IFERC活動に加えて、核融合科学技術委員会のもとに設置されたタスクフォース及び特別チームの活動において、以下の成果を得ている。

- ・原型炉概念設計は、令和4年1月、核融合科学技術委員会における第1回中間チェックアンドレビューにおいて、要求通り、基本設計のレベルに達成していると判断された。現在、次段階である原型炉概念設計に加えて、原型炉建設の移行判断までに必要な原型炉研究開発の課題を抽出し、作業計画を作成した。

IFERC活動や特別チームの活動に加えて、原型炉用ブランケット開発の一環として、中性子増倍材であるベリリウムの製作技術、およびリチウム生成のためのリチウム回収技術を開発している。主要な成果を以下に示す。

- ・ベリリウムの製作技術に関しては、常圧下でも低温溶解可能な「アルカリ・マイクロ波溶融技術」を進め、マイクロ波溶融効果を明らかにし、多くの鉱物等を同一条件で溶解できる可能性を見出した。本技術は鉱物資源だけでなく、リサイクル分野における有用金属や有害金属の抽出・分離にも適用可能であり、企業との技術実証に向け共同研究を開始した。
- ・リチウム回収技術に関しては、国のプロジェクトであるSTART公募研究を進め、塩湖かん水からリチウムを回収する際の最適Li回収条件(高pHなど)を最適化した。その結果、回収速度を大幅に上げることが可能となり、本技術を用いることによって、製造コストを輸入価格の半分(実用化レベル)以下に下げられる見通しを得た。

2.3 JT-60SA活動

JT-60SA計画に関しては、機器組み立て終了後の令和2年4月より統合試験運転を開始している。これまでに、超伝導コイルの通電試験やECRシステム動作試験の一環として、コイルを通電した状態で



図2 QST六ヶ所研遠隔実験室で受信したITERサイト電源設備モニタリング

真空容器に高周波を入射し、電子サイクロロン共鳴プラズマを生成している。しかしながら、その後、R3年3月に実施したコイル通電試験の最終段階において、EF1コイルの電圧制御試験中に、コイル系統に過電流が流れ、電源のインターロックが動作するトラブルが発生した。同トラブルによる損傷を調査した結果、EF1コイル自体に損傷はないものの、同コイルの電路接続部の外郭が接地間で放電し損傷を受けたことが判明した。現在、この損傷した接続部の補修に加えて、損傷していない接続部を含めた電路に対して、対地絶縁強化の改修を実施している。加えて、改修された部分を含むすべての高電圧部品に対して、放電しやすい圧力条件での耐電圧試験(パッシェン試験)を実施している。これまでに、電路接続部、コイルターミナルボックス内の接続部、超伝導コイル計測線、クライオスタット内から大気側に引き出すインターフェイスボックス内端子などに対して、数百ヶ所以上の改修を行い、パッシェン試験に合格している。今後は、改修箇所に対する個別のパッシェン試験を実施した後、クライオスタット全体に対するパッシェン試験を実施し、コイル通電試験を再開する予定である。

今回のトラブルに対して実施している補修、改修、試験方法は、イーターに情報提供しており、イーターの組立作業、試験運転に反映させる。

改修作業と並行して、当初、ファースプラズマ後に計画していた機器の製作、設置を前倒して実施している。これまでに、真空容器ポートの設置等、真空容器内機器である安定化板や大量ガス入射(MGI)などの試作、高周波加熱装置の増力整備、中性粒子入射装置の周辺機器の整備などを進めている。