

核融合工学部会セッション

JT-60SA と炉工学研究のつながり

Relation between JT-60SA and fusion reactor engineering research

(2) JT-60SA の構造・装置内環境条件

(2) Structure and in-vessel environmental conditions of JT-60SA

*林 孝夫¹¹量子科学技術研究開発機構

1. はじめに

JT-60SA は超伝導コイルを用いた装置であり、100 秒以上の放電を可能とし、また、中性粒子入射装置(NBI)をはじめとした 41MW の強力な加熱装置を有するため、大量の熱を処理するためのプラズマ対向壁が必要となる。また、プラズマの早い制御に必要なコイルは常伝導コイルである必要があり、これらは真空容器内に設置する。さらに、プラズマ制御に必要な多彩な電磁気検出器、及び、真空排気装置であるクライオパネルを真空容器内に設置する。JT-60SA には安定化板を設置し、これらの多くの機器は安定化板と真空容器の間に設置するため、機器間のクリアランスが非常に小さい。一方、プラズマ対向壁は大量の熱に晒されるため、均一に設置する必要がある。これらにより、JT-60SA の真空容器内機器は数 mm 以下の精度で設置することが必要となる。また、比較的多量の中性子発生が見込まれているため、真空容器内機器は耐放射線性を持つ必要がある。定期的に補修が可能なダイバータカセットはリモートハンドリングでの搬出、設置が可能な設計となる。さらに、200 度ベーキングに耐えうる耐熱性も必要となる。これほどまでの多種多様の機器を高精度に真空容器内に設置する装置は JT-60SA が最初であり、容器内機器の種類と条件は ITER と酷似するため、JT-60SA での実績は ITER の容器内機器の開発、製作、及び設置に直結する。これらに必要な要素技術の開発と器具の製作が行われ、容器内機器のほぼ全ての製作を終了した。また、ファーストプラズマに向けては、必要最小限の容器内機器を要求される精度での設置を完了した。これに際し、真空容器表面の組み立て精度が 20mm 程度であったのに対し、これに設置する機器の取付精度を 1mm 以下にする手法の開発が行われた。

2. JT-60SA の容器内機器

高圧プラズマを安定に制御するため、JT-60SA の真空容器内には様々な機器を設置する(図 1)。まず、プラズマの不安定性を受動的に抑制するための安定化板(導体制で、そこに流れる渦電流で磁場揺動の成長を抑える)を設置する。また、高速位置制御コイル、誤差磁場補正コイル、抵抗性壁モード制御コイルなどの真空容器内コイル群を用いて、プラズマの位置や磁場の乱れを能動的に高速制御する。

容器内機器は共通して、低放出ガス、非磁性、耐熱性、耐放射線性の材料を用いる必要がある。これらの要求を満たすため、真空容器内の雰囲気と接する材料は金属ではステンレスやインコネル、絶縁材はセラミック(MgO など)を用いた。プラズマ対向壁は高温のプラズマからの熱に対して耐性を持つ必要があり、JT-60SA では当初は炭素タイルを使用する。機器の設計に大きく影響するディスラプションについては、シミュレーションを行うことにより機器に流れる誘導電流やハロー電流を決定し、有限要素法解析を用いて設計を行い、また、振動試験を行って確認を行った。JT-60SA では最大 41MW の追加熱が 100 秒入射される。プラズマから発生する輻射熱や、ダイバータでのプラズマの接触により真空容器や他の容器内機器が高温になるため、これらの保護のためのプラズマ対向壁を設置する。JT-60SA ではプラズマ対向壁として内側第一壁、安定化板、下側ダイバータ、及び上側ダイバータを設置する。プラズマ電流 5.5MA のディスラプション時のハロー電流に耐えうる構造とし、熱負荷の集中を回避するためタイル間の段差は±1mm 以下としている。

下側ダイバータの熱負荷が最大となるが、輻射にて~2MW/m²×100 秒、ダイバータ足部にて~15MW/m²×100 秒となり、これらの熱の排出のために水冷による強制冷却が必要となる。また、JT-60SA の特長である広

範囲のプラズマ断面形状制御性とダイバータプラズマ性能を両立できることを目的とし、JT-60Uにて良好な結果を得たW形状のダイバータ形状を採用した。また、ダイバータ部は数年毎のメンテナンスが必要であるが、真空容器内線量率が1mSv/hを超えるため、遠隔保守による修理・交換が必要であり、これに対応するためカセット構造を採用した。また、炭素壁でスタートするが、適切な時期に金属（タングステン）壁に変更可能な設計としている。カセットの交換時には配管の切断、接続が必要のため、遠隔保守が可能なレーザー光による管内溶接の開発を行った。開発した溶接ツールを用いてレーザー光を接合部に照射し溶接を行う。この溶接ツールではあらかじめ溶接部の測定が可能であり、その測定結果をもとに高精度に照射位置の制御を行うことにより、開先合わせが比較的不十分な状態でも確実に溶接を行うことが可能となった。

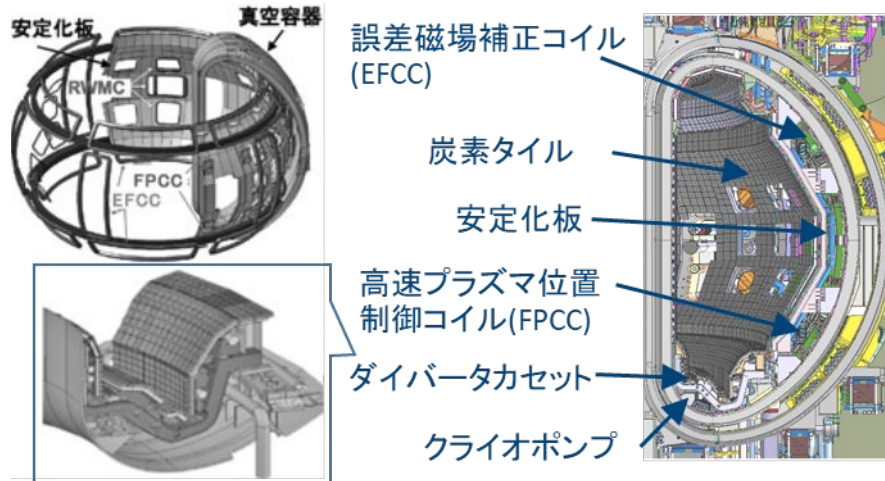


図1 JT-60SAの真空容器内機器群

3. 現在の進捗状況とまとめ

JT-60SAの真空容器内には様々な機器を設置される。ファーストプラズマ時には必要最小限の容器内機器のみを設置したが、現在、真空容器内に様々な機器を設置する作業を実施中である。容器内コイルの内、誤差磁場補正コイル(EFCC)は、真空容器外で製作したコイルを真空容器に持ち込んで設置する一方で、高速プラズマ位置制御コイル(FPCC)は、コイル直径が大きく、真空容器の開口部から搬入できないため真空容器内で巻き線作業を行っている。また、安定化板等の固定座の設置も同時並行で進められている。ダイバータカセットについては、2025年夏頃に真空容器内に予定される予定である。

*HAYASHI Takao¹

¹National Institutes for Quantum Science and Technology (QST)