

論文の内容の要旨

論文題目

「核融合炉における放射線遮蔽体を含む Diagnostic rack の構造に関する研究」

学位申請者 田中 優

キーワード：核融合炉, 放射線遮蔽, 遠隔保守, Diagnostic rack, 位置再現性

日本及び世界の電力消費は、今後も増大していくと予測されている。しかし、以前より日本には発電に必要な燃料などの資源が全く不足しており、輸入に依存していることが問題視されている。日本のエネルギー政策においては、資源を輸入に依存せずに賄える可能性がある核融合炉による発電が注目されており、国策として具体的な活動が始まりつつある。

本研究では、トカマク型核融合炉の計測用ポート内に配置される放射線遮蔽体を含む Diagnostic rack (計測支持構造体) の構造に焦点を当てている。この Diagnostic rack は、例えば核融合実験炉 ITER においては、質量約 10 トンの金属製の構造体であり、プラズマ計測機器を搭載すると共に放射線遮蔽性能を有する必要がある。Diagnostic rack 及び周辺構造物は核融合反応の生成物である中性子によって放射化し、人手によるメンテナンスが不可能となる。そのため、専用の遠隔操作ロボットを用いて Diagnostic rack の輸送とメンテナンス等を行う必要があり、質量制限、再インストール時の位置再現性、電気コネクタの接続などに課題がある。

本論文では、これらの課題を解決するための Diagnostic rack の構造について考案し、具体的な評価とその有用性について論じている。

第 1 章では、核融合発電の位置づけと Diagnostic rack に要求される課題及び本研究の目的について述べた。

第 2 章では、Diagnostic rack に搭載する中性子遮蔽体の質量制限及びガス吸着による核融合炉内の燃料粒子の希釈・トリチウム保有量の制限について説明している。中性子遮蔽材としては比較的軽量の炭化ホウ素の粉をステンレス製の容器にプレス・振動充填する新しい中性子遮蔽体を提案した。遮蔽体を試作し、粉のサイズの組み合わせ及びプレスと振動充填の組み合わせの影響などについて評価した。その結果、平均粒径が 2 mm と 0.2 mm の粉を真密度に対して 76% の密度で容器に充填できることを明らかにした。この密度で十分な遮蔽能力があることは中性子のモンテカルロシミュレーションを用いた遮蔽計算によって検証し、確認した。

第 3 章では、Diagnostic rack に搭載するプラズマ計測機器に求められる位置再現性 (± 1 mm) と遠隔保守性の担保及び核融合炉における荷重について説明している。まず、橋梁の支承の構造を流用することによって高い位置再現性を得られることから、それが核融合炉における荷重のよって破損せずに、遠隔保守によって操作可能である固定機構 (構造) を提案した。評価においては、既存の二つの設計案 (ITER 機構 (仏) 及び Ioffe 研究所 (露)) と構造解析シミュレーションを用いて比較することにより本提案の優位性を見出した。すなわち、本

提案が各課題を解決するための構造として最も優位であることを示した。次に、本提案の実規模のモックアップを製作し、位置再現性及び各固定点に発生する反力を測定した。その結果、位置再現性は 2σ で0.49 mm となり、計測機器からの要求を満足した。さらに、反力については構造解析シミュレーションの結果を再現することができたことから、開発した固定機構の設計の妥当性を明らかにした。

第4章では、Diagnostic rack において遠隔保守で接続・切断する電気コネクタについて考案している。核融合炉内では金属製の被覆を用いた MI(Mineral insulated)ケーブルを使用する必要性があり、プラズマ計測機器のための高周波電力伝送路における電力損失の影響を考慮する必要がある。そこで、硬い MI ケーブルに支持点を持たせず、可とう部として使用する新しい電気コネクタの構造を提案した。まず、コネクタ接続・切断時の曲げに MI ケーブルが応力・反力的に問題なく追従することを構造解析シミュレーションを用いて検証を行い、実現可能であることを初めて明らかにした。次に、駆動時の抵抗力の算出、モックアップを用いた実際の接続・切断時の抵抗力の測定を行い、開発した電気コネクタは十分な裕度をもった設計になっていることを示した。

第5章では各章で述べた課題に対して、本研究で得られた成果を総括している。

以上のとおり、本論文は、核融合炉に搭載が必要な Diagnostic rack について、放射線遮蔽性能などの課題を解決した構造の実用的な知見を得たものである。本研究の成果は、ITER において既に実用設計に供され、この構造を適用した Diagnostic rack の製造は数年内に開始される予定である。今後、実証炉においても、本研究の成果が適用されることが期待されており、核融合炉の実用化への貢献度は大きいと考える。