

熱核融合炉安全解析に向けた炉心部過渡解析に関する研究

学生証番号 47126086 氏名 筒井 俊樹
(指導教員 小川 雄一 教授)

Key words:安全解析、熱核融合炉、炉心プラズマ、ダイバータ板、周辺領域プラズマ

1.背景・目的

エネルギー問題の解決策として21世紀に実現が望まれる技術の一つに核融合がある。研究の進捗状況としては現在、国際熱核融合実験炉ITERが各国協力のもと建設中といった状況であり原型炉を経て商用炉に向けた展開が今後なされていくと考えられる。熱核融合炉が現実味をおびてくるのにあたって安全評価は重要なテーマである。熱核融合炉における安全解析・評価を目標としてITERで用いられた安全解析コードSAFALYなどを参考とした過渡解析コードの構築を行った。近年のITER計画に即してダイバータ板の素材として炭素とタングステンについての解析の比較を行った。さらに炉内の周辺領域での不純物放射に着目し、プラズマモデルを拡張し周辺領域での相互作用をいれて解析した。

2.数値モデル

コアプラズマについて0次元モデルとした。各イオン(重水素と三重水素が1:1で混合した燃料イオン、核融合反応によって生じた α 粒子イオン、その他の不純物イオン)と電子の密度を粒子バランス式と、イオンと電子の温度についてエネルギーバランス式を解いている。さらに周辺領域のプラズマモデルとして伝熱モデルでは周囲構造物をプラズマからみた深さ方向に一次元の熱伝導方程式を解く。境界条件としてプラズマからの熱と壁からの粒子の昇華熱を反映した温熱源と反対側で冷却管との熱伝達による冷熱源を与えた。伝熱モデルで導出された壁の表面温度 $T(K)$ を用いて壁表面からの粒子放出量が求まり、放出された粒子がプラズマに不純物として流入することによって壁とプラズマが相互作用を生じる。さらに周辺領域モデルとしてはSOL領域、ダイバータ領域の2つ領域に分割した2点モデルを導入した。

3.炭素壁とタングステン壁での過渡応答の比較

炭素材とタングステン材を用いた壁の比較を行った。表面温度に依存した粒子の放出数は2000K~3000K強の領域では炭素の方が4桁ほど大きい。そのため昇華熱によって炭素では30MW/m²の熱流束が境界条件となっても昇華点に達しなかった。一方でタングステンでは粒子放出量が少ないので異常事象の際に融点を越えることがあると解析できた。壁の損耗具合を比べるとタングステンのほうが3桁程度小さいことも解析できた。コアに不純物として混入した場合、炭素の場合では出力の低下は1割程度の事象でもタングステンの場合は不純物放射の影響が大きくプラズマを消滅させてしまうとも解析することができた。

4.周辺領域での相互作用を導入した過渡解析

タングステン材について周辺領域モデルを含んだものにプラズマモデルを拡張し過渡解析した。壁から放出されたタングステンの放射パワーが大きいため、異常事象で壁への熱流束が増えた場合昇華熱による表面温度上昇の抑制はみられないが、周辺領域での放射によって壁への熱流束が緩和され表面温度の上昇を抑制するという解析結果を得ることができた。

5.結論

核融合炉の安全解析・評価を目的として炉内の壁とプラズマの相互作用を反映した過渡解析コードの構築及び解析を行った。炭素とタングステンについて異常事象下での振る舞いの違いを解析することができた。プラズマモデルを拡張し周辺領域モデルを追加することによって周辺領域での放射によってタングステン材でも異常事象下に健全性を有する可能性を解析することができた。