

統合ダイバータコードSONICの過渡解析による
非接触状態ダイバータプラズマ遷移に対する入射不純物の輸送の影響
**Effects of impurity transport on detached divertor plasma transitions
by time-dependent analysis of integrated divertor code SONIC**

矢本昌平, 星野一生^A, 本間裕貴^B, 仲野友英, 佐野竜一, 林伸彦
S. Yamoto, K. Hoshino^A, Y. Homma^B, T. Nakano, R. Sano and N. Hayashi

量研那珂, 慶大理工^A, 量研六ヶ所^B
QST Naka, ^AKeio Univ., ^BQST Rokkasho

ITERや原型炉では低いダイバータ熱負荷及び高い炉心プラズマ性能を同時に長時間維持する。ダイバータへの熱負荷を低減するには、NeやAr等の不純物入射によって放射パワーを増大させ、境界層(SOL/ダイバータ)プラズマを冷却し、非接触ダイバータを形成する手法が最も有効である。一方、炉心プラズマでは不純物の侵入によって燃料が希釈され放射損失が増大する。よって非接触プラズマを維持しつつ炉心プラズマ性能を向上・維持するように不純物入射量・入射時間等を操作し、プラズマ・不純物の輸送を時間的に制御する手法を開発する必要がある。

量研の統合ダイバータコードSONICの不純物輸送モジュールでは定常解析のみが可能であったが、これを非定常解析用に改良した。これによって、不純物輸送を運動論的にかつプラズマと自己無撞着に過渡解析を行うことができる非定常版SONICを完成させた。

本研究では、JT-60SAの境界層プラズマを対象に非定常版SONICによって、不純物の存在しないプラズマへAr不純物入射を $0.6 \text{ Pa m}^3/\text{s}$ で定常的に行い、より多くの熱負荷が集中する外側ダイバータプラズマが非接触状態となるまでの過渡解析を行なった。本解析では、タングステンなどの金属壁を想定し、壁由来不純物の発生量は十分小さいと仮定し、不純物種としてArのみを考慮した。図1に示すように、Ar不純物の入射開始からおよそ270 msまではダイバータプラズマは接触状態であったが、10ms程度の時間スケールで急激に電子温度が低下、及び電子密度が上昇し、非接触状態へと遷移した。この接触状態から非接触状態への遷移中で低価数Ar不純物の振る舞いが重要であることが示唆された。まず、270 msまでの接触プラズマの状

態では、ストライク点近傍の磁力線ではArイオンは熱力によりSOL上流へと輸送される一方、ストライク点遠方の磁力線では摩擦力によりダイバータ領域に輸送される。その結果、ストライク点遠方の磁力線で0-3価のAr不純物が増加していく。そして270 ms以降、ストライク点遠方の磁力線で蓄積したArイオンがストライク点へ輸送され、リサイクリングされることによってストライク点近傍の磁力線でAr密度が10倍以上に高くなり、放射パワーが高くなる。これによって、外側ダイバータ板近傍の電子温度が15 eV程度から数eVまで低下し、非接触プラズマが形成されることが示された。本結果は、これまで明らかでなかった非接触プラズマ形成過程における不純物輸送の重要性を示唆するものであり、プラズマ・不純物輸送の時間的制御手法の開発に指針を与える。

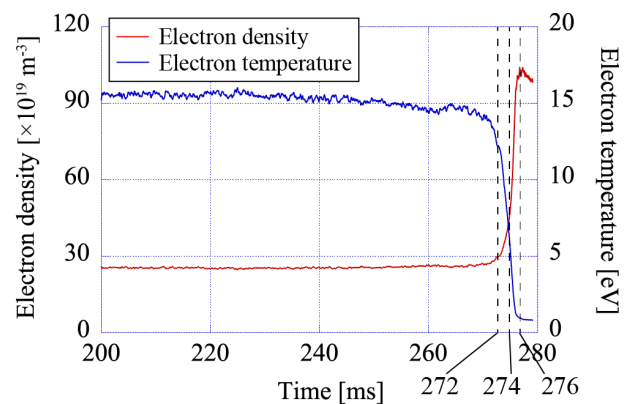


図 1 外側ダイバータストライク点での電子密度・電子温度の時間発展。横軸は Ar 入射開始からの経過時間。