

JT-60U と ASDEX Upgrade における H モードプラズマのペデスタル特性 Pedestal characteristics of H-mode plasmas in JT-60U and ASDEX Upgrade

浦野 創, 鎌田 裕, 滝塚知典, SUTTROP Wolfgang¹⁾, HORTON Lorne¹⁾, LANG Peter¹⁾,
久保博孝, 大山直幸, 竹永秀信, 朝倉伸幸
原研那珂, マックスプランク研¹⁾

URANO Hajime, KAMADA Yutaka, TAKIZUKA Tomonori, SUTTROP Wolfgang¹⁾, HORTON Lorne¹⁾,
LANG Peter¹⁾, KUBO Hirotaka, OYAMA Naoyuki, TAKENAGA Hidenobu, ASAKURA Nobuyuki
JAERI-Naka, IPP-Garching¹⁾

国際熱核融合実験炉 ITER において、十分な核融合出力を獲得するためには、高密度領域でコアプラズマ部の高閉じ込めを実現する必要がある。しかし、ITER の標準運転モードである H モードプラズマの閉じ込め性能は密度の増加に伴って次第に低下する傾向がある。また、H モードの周辺部に局在する不安定性 ELM によるエネルギーパルスは、ダイバータ板に大きな熱・粒子の衝撃を与える可能性がある。このため、ITER へ向けた炉心プラズマ物理研究を取りまとめる国際トカマク物理活動では、H モードプラズマの閉じ込めに対する周辺ペデスタル特性の理解と ELM の有効な制御手法の確立を最重要課題の 1 つに位置づけている。本講演では、これらの課題に対して JT-60U と ASDEX-U で明らかにした H モードのペデスタル特性（コア部閉じ込め及び ELM への影響）を報告する。

まず周辺プラズマとコア閉じ込めの関連を主に JT-60U で調べた結果を議論する。H モードでのペデスタル圧力（密度×温度）は ELM で一定に制限されることを明らかにした。そのため、密度が増加すると、ペデスタル温度は低下する。また、高密度の H モードは、温度分布が相似的に変化する性質（profile stiffness）を強く有し、ペデスタル温度は中心部の温度を決める境界条件となることを明らかにした。従って、高密度領域でのコアプラズマ部の閉じ込め劣化は、ELM で制限されるペデスタル温度の低下によって起こることが分かった。高三角度の H モードでは周辺部安定性の改善によって、また不純物を入射した H モードにおいては（密度分布の中心尖塔化による相対的な）周辺密度の低下によって、ペデスタル温度が上昇するため、上記のメカニズムに従って、コアプラズマ領域の閉じ込め性能が向上することを明らかにした。

これらの H モードにおけるペデスタル特性は、装置特有の性質ではなく、ASDEX-U においても確認できた。従って、コアプラズマ部の高閉じ込めを実現するためには、その境界条件としてペデスタル圧力の上昇が望まれる。しかし、ペデスタル圧力が上昇すると、これに比例して、ELM で放出される最大エネルギーが増大する傾向があり、炉心プラズマの高閉じ込めとダイバータ板への熱負荷低減との両立が重要な課題となっている。この ELM による熱・粒子損失を決定する要因について ASDEX-U と JT-60U で調べた。密度の増加によりペデスタル部の衝突周波数が増大すると、ELM と ELM の間（ELM free 状態）の熱輸送が増加し、その結果、ELM 自体による損失パワー（ELM 周波数×1 回の ELM で放出されるエネルギー）の割合は減少することを解明した。すなわち、ペデスタル領域での衝突周波数及び ELM の周波数が増加すると、それに伴って 1 回の ELM で放出されるエネルギーは低下することが分かった。この結果に基づいて、ASDEX-U において高周波数ペレット入射を用いた実験を行い、ペレットが ELM の損失パワー割合を変えず、周波数の増加に対して ELM エネルギーを低下させる有効な手法であることを明らかにした。