

新しい点火領域に向けた超高密度プラズマの生成と制御

Formation and control of super-high-density plasmas towards innovative ignition regime

山田弘司、坂本隆一、本島巖、宮澤順一、小林政弘、村上昭義、森崎友宏、
増崎貴、大舘暁、榊原悟、渡邊清政、LHD実験グループ
YAMADA H., SAKAMOTO R., MOTOJIMA G., MIYAZAWA J., KOBAYASHI M.,
MURAKAMI A., MORISAKI T., MASUZAKI S., OHDACHI S., SAKAKIBARA S.,
WATANABE K.Y. and LHD experiment group

核融合科学研究所
National Institute for Fusion Science

良好な粒子排気と中心燃料供給の条件下で生成される内部拡散障壁を伴った超高密度コアプラズマの特性を包括的にアセスメントし、従来の燃焼プラズマの運転シナリオとは異なる、高密度低温での新しい自己点火領域の可能性を議論する。

LHD において、良好な周辺粒子制御と中心燃料供給の組み合わせによって、中心密度が $1 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$ を越える超高密度が達成された。この内部拡散障壁を持つプラズマを準定常的に維持する実験を行い、超高密度プラズマを準定常維持するためには、固体水素ペレット入射によるコアプラズマへの直接粒子供給が本質的であることを明らかにし、中心粒子供給が可能ならば、良い閉じ込め特性を準定常的に維持することが可能であることを示した(図1)。得られた実験結果を核融合プラズマの運転シナリオへ適用するためには、外挿性の確保が重要となる。ここでは、衝突周波数依存性に注目した。LHD 実験で観測される内部拡散障壁の規格化密度勾配はプラズマの規格化衝突周波数に対してほとんど依存性がなく、図2に示す様に、一桁以上異なる衝突周波数にわたって、大きな密度勾配を保つことができることが分かった。

加熱パワー密度の観点からは、 30 m^3 のプラズマを 12 MW 程度の NBI で加熱している LHD 実験における加熱パワー密度は、核融合炉におけるアルファ加熱パワー密度とほぼ同等である。これらのことから、本研究で対象とした内部拡散障壁を有する超高密度プラズマは核融合プラズマの運転シナリオとしての実行可能性があると考えられる。

これまでの実験で得られた高密度プラズマの閉じ込め特性とペレット粒子供給特性を基に、核融合プラズマへの粒子供給シナリオのモデル化を行い、燃焼プラズマのシミュレーションを行った。この計算では、ペレット粒子供給による断熱的なプラズマ分布変化と、その後の緩和過程を解くことによって、自己点火条件を満たすために必要な粒子供給条件を推定した。内部拡散障壁を伴う超高密度運転シナリオでは、高密度低温 (11.2 keV , $3.3 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$) での自己燃焼プラズマの保持が可能である一方、内部拡散障壁を維持するためには、プラズマ中心部への直接粒子供給が不可欠であり、既存のペレット入射技術を大きく超える 10 km/s 以上の超高速ペレット入射が必要であることが示された。

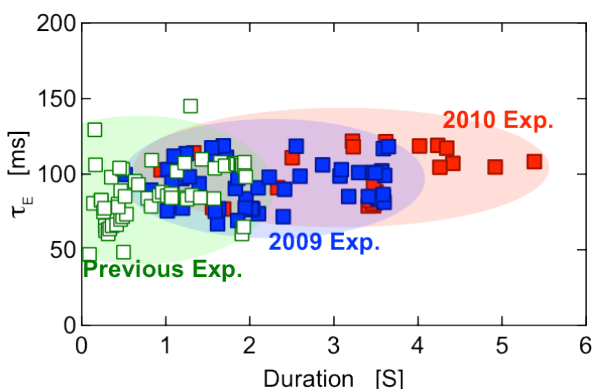


図1 内部拡散障壁を持つプラズマの保持時間

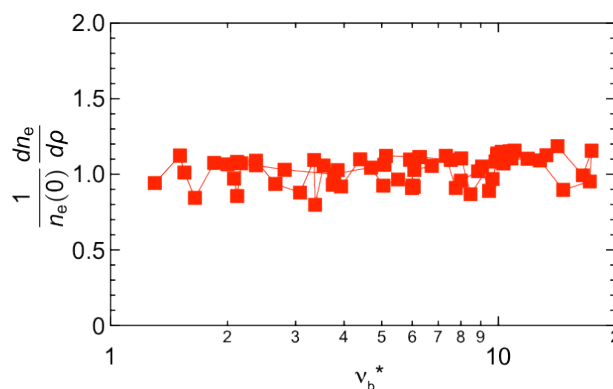


図2 規格化密度勾配の規格化衝突周波数依存性