

トカマクのディスラプション時における 逃走電子プラズマの特性

Characteristics of Runaway Plasmas in Tokamak Disruption

河野康則、玉井広史、諫山明彦、仲野友英、朝倉伸幸、久保博孝、
竹永秀信、モハマドバクティアリ、井手俊介、近藤 貴、波多江仰紀

原研那珂

KAWANO Yasunori, TAMAI Hiroshi, ISAYAMA Akihiko, NAKANO Tomohide,
ASAKURA Nobuyuki, KUBO Hirotaka, TAKENAGA Hidenobu,
BAKHTIARI Mohammad, IDE Shunsuke, KONDOH Takashi, HATAE Takaki
JAERI NAKA

トカマクでは、ディスラプション時に誘起される高電場により大量の高エネルギー（数10MeV）逃走電子が発生し、プラズマ電流の大部分が逃走電子によって担われるプラズマ—ここでは逃走電子プラズマと呼ぶ—が生成されることがある。ITERのディスラプションでは、逃走電子電流がディスラプション前の電流値の7割に達するというシミュレーション例もあり、逃走電子の局所的な照射による第一壁表面の熔融、損傷が懸念されることから、逃走電子の発生そのものを回避することや、逃走電子が発生した場合にはこれを抑制制御することが重要な研究課題となっている。本講演では、外部アクチュエータを用いて逃走電子プラズマを安全に消滅（逃走電子電流を減衰）する手法の開拓を目指し、その基礎として逃走電子プラズマ特性を調べるためにJT-60において行った実験について報告を行う。

実験では、オーミックプラズマ（プラズマ電流 $I_p \sim 0.85\text{MA}$ ，トロイダル磁場 $B_t \sim 3.73\text{T}$ ，電子密度 $n_e \sim 1 \times 10^{19}\text{m}^{-3}$ ）にて人為的なディスラプションを引き起こし、逃走電子プラズマを生成した（ $I_p \sim 0.5\text{MA}$ ， $n_e \sim 2 \times 10^{19}\text{m}^{-3}$ ）。逃走電子の背景プラズマ粒子との衝突による減速、散乱が電子密度やプラズマ電荷数に従って大きくなることを期待して、逃走電子プラズマに不純物ペレット（ネオンペレット、サイズ $2.1\text{mm} \times 2.1\text{mm}$ 、速度 $\sim 700\text{m/s}$ ）の入射を行ったところ、不純物ペレット入射時の電子密度増加、逃走電子の損失増大、逃走電子電流の減衰を観測した。ここで、逃走電子電流の減衰量と逃走電子の損失量はおおよそ比例する傾向を示した。この間、逃走電子の損失を伴う大振幅のMHD不安定性は観測されておらず、MHD不安定性の寄与は小さいと考えられる。一方、電子密度の増分（ $\sim 0.7 \times 10^{19}\text{m}^{-3}$ ）に対して計算される減速時間の減少率（ $\sim 1\text{s}$ ）と比較して、逃走電子電流減衰時間の減少率は2倍程度以内の値（ $\sim 1.7\text{s}$ ）を示し、逃走電子の不純物ペレット内での散乱、雪崩機構による2次的な逃走電子発生、などについても考慮する必要があるものの、電子密度の増加が逃走電子電流の減衰に寄与していることを明らかにした。

上記のような実験において、逃走電子プラズマの特性をより詳細に解明するためには、逃走電子のエネルギー分布及び空間分布を診断することが必要であるが、これまで有効な診断手法が無かった。そこで、レーザ逆コンプトン散乱に基づく逃走電子診断法を新規に提案し、開発に着手した。これは、レーザ光と高エネルギー逃走電子との逆コンプトン相互作用で発生するX線光子のエネルギー分布、空間分布測定を通して、逃走電子のエネルギー分布、空間分布の能動的な診断を図るものである。その概要についても報告する。