

## トカマクのディスラプション

芳野 隆 治

ITER の CDA 概念設計活動にて、ITER の設計に必要とされる物理 R & D の議論がなされた [1]。第 1 に重要とされたのは、ダイバータ物理の解明であるが、ディスラプションの研究が、他の閉じ込めなどの研究よりも緊急性の高い項目として 2 番目に挙げられた。これは、ディスラプションによる第一壁の損傷や炉構造物にかかる電磁力が過大と予測され、トカマク炉設計の大きな制約条件となるからである。すなわち、ディスラプションを完全に回避できれば、または、ディスラプションに伴うダメージを大きく軽減できれば、より安全性の高いトカマク炉を設計できる。従って、今後、これらの技術を確立することが必要であるが、それは可能と予測される。

ディスラプションは、プラズマの熱エネルギーを放出する熱クエンチと、それにつづき、プラズマ電流の急減するプラズマ電流クエンチからなる [2]。前者では、プラズマの熱エネルギーが第一壁（とくに、ダイバータ板）に流れ、第一壁の寿命を著しく低減する。後者では、プラズマ電流の急減により発生する渦電流およびハロー電流が、真空容器や真空容器内構造物に流れ、過大な電磁力を発生する。このとき、高エネルギーの逃走電子が発生する可能性が高く、これは第一壁に大きな損傷を与える。

ディスラプションと一口に言っても、多くの種類がある。しかし、各々のディスラプションが発生する運転領域は、一般化された物理量で評価でき、各トカマク装置にてほぼ共通な為、発生頻度の低い領域を選択すれば、ディスラプション頻度を激減することができる。この運転領域は、トカマク炉の運転シナリオ（プラズマ電流の立ち上げ／立ち下げ）や、炉心プラズマ形状（非円形度、プラズマと第一壁とのクリアランスなど）を決めるのにそのまま反映できる。とくに、ロックドモードディスラプションについては、スケーリング

則が整いつつあり、ITER では、エラー磁場を地磁気レベルに低減する必要性が示唆されている [3]。トカマク炉の運転領域は、ディスラプションに対し安定な領域に設定されると予測されるため、ディスラプション回避としては、事故時を想定すればよい。確率の高いものとして、不純物の混入がひきおこす密度限界ディスラプションがある。磁気プローブに揺動が検出される（プラズマ電流分布が変化する）かなり前から、プラズマが最外殻磁気面より収縮する現象が予兆として観測されるため [4]、回避制御を行うことができる。その一つの方法として、緊急プラズマ停止があるが、逆にディスラプションの発生確率が高くなるため、「熱クエンチが発生しても、プラズマ電流クエンチを回避する」という妥協が必要となるだろう。

プラズマ電流のクエンチ速度は、垂直位置不安定性の発生しないとき、プラズマのインダクタンスと抵抗の比で決まるのが最近分かってきた。従って、電子温度を上げればプラズマ電流のクエンチ速度を低減できる。直接的な方法は、プラズマの加熱であり [5]、間接的には、熱クエンチにて第一壁から発生する不純物の主プラズマへの混入を軽減すればよい [6]。逃走電子の抑制に対しては、プラズマに印加される外部電圧を低減することが必要である。しかし、プラズマの高密度化やエラー磁場の増大により逃走電子を抑制できるとの実験結果があり、抑制技術の確立は可能と思う。

### 参考文献

- [1] C. Flanagan *et al.*, ITER DS, No. 20 IAEA (1991).
- [2] 常松俊秀：核融合研究 **68** 147 (1992).
- [3] T. N. Todd *et al.*, in *Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research 1992 (14th Int. Conf. Würzburg)* IAEA-CN-56/D-1-1(c).
- [4] J. A. Wesson *et al.*, Nucl. Fusion **29** 641 (1989).
- [5] R. Yoshino *et al.*, in *Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research 1992 (14th Int. Conf. Würzburg)* IAEA-CN-56/G-3-1.
- [6] R. Yoshino *et al.*, Nucl. Fusion 投稿中.