

## 02aA01P ELM崩壊後のSOL/ダイバータプラズマの1次元粒子シミュレーション One-dimensional Particle Simulation of SOL/Divertor Plasmas after an ELM Crash

滝塚 知典、林 伸彦、細川 哲成<sup>1)</sup>  
原研那珂研、R I S T<sup>1)</sup>

TAKIZUKA Tomonori, HAYASI Nobuhiko, HOSOKAWA Masanari<sup>1)</sup>  
JAERI Naka, RIST<sup>1)</sup>

Hモードプラズマ中のELM崩壊後のダイバータ板への大きな熱束と粒子束は、トカマク核融合炉における重大問題のひとつである。ITERにおけるそれらの値は主に流体モデルに基づく数値シミュレーションにより評価されてきた。現状の流体モデルが、ELM崩壊後のSOL/ダイバータプラズマの過渡応答を正しく記述できるかどうか良く確かめられていない。例えばSOLプラズマ中の熱伝導係数やプラズマ/壁境界条件に対する運動論効果はまだ十分には理解されていない。このような運動論効果を調べることができる強力な手法である粒子シミュレーションにより、ELM熱束における高速電子の効果の重要性が指摘された[1]。本研究では、我々が開発してきたPARASOL (PARTicle Advanced simulation for SOL-divertor plasmas) コード[2]を用いて、ELM崩壊後の1次元SOL/ダイバータプラズマの過渡特性を調べる。

SOLプラズマ中央部に定常的な熱粒子供給源があり、ダイバータ板近傍にリサイクリングによる冷粒子源がある。この定常プラズマに、時刻  $t = t_{\text{ELM}}$  に起きたELM崩壊により、多量の非常に熱い粒子が突発的に短時間で供給される。まず高温の電子のテール成分がダイバータ板に熱を運ぶ (Fig. 1 における  $t - t_{\text{ELM}} \ll 1$  に見られる熱束  $Q_{\text{div}}$  の第1次ピーク)。続いて、電子の熱成分の熱伝導による熱束が時間的に緩やかに減少しつつ流入する。これに遅れてダイバータ板にELMの粒子束が到達する。この粒子到達時間  $\tau_1$  はELMで温度上昇したSOLプラズマの音速で決まる。粒子束に伴ってイオンの熱は対流的にダイバータ板に流入する。電子の熱束もプラズマ/壁境界条件(シース条件)を満たすように同時に増大する。熱束の第2次ピークまでの時間  $\tau_2$  について、文献[3]では音速の時間スケールに衝突度の修正が加わると予測された。しかし、今シミュレーションにより、 $\tau_2$  は衝突度には依存せず、リサイクリング条件に依存する (Fig. 1 に示すように高リサイクリングで長くなる) ことが分かった。

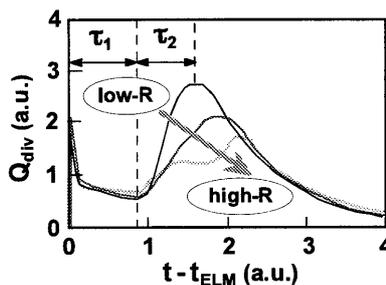


Fig. 1 Transient behavior of heat flux to the divertor plate  $Q_{\text{div}}$  after an ELM crash for various recycling conditions.

- [1] A. Bergmann, Nucl. Fusion 42 (2002) 1162.  
[2] T. Takizuka, M. Hosokawa, K. Shimizu, Trans. Fusion Tech. 39 (2001) 111.  
[3] A. Loarte et al., J. Nucl. Mater. 313-316 (2003) 962.

## 02aA02P 小型トカマクHYBTOK-IIにおけるディスラプション時のプラズマ内部構造ダイナミクスの観測

### Dynamic Behavior of the Disruptive Plasma in the Small Tokamak HYBTOK-II

岡本 征晃<sup>1</sup>, 菊池 祐介<sup>2</sup>, 大野 哲靖<sup>3</sup>, 高村 秀一<sup>1</sup>, 上杉 喜彦<sup>4</sup>, 小関 隆久<sup>5</sup>, 河野 康則<sup>5</sup>, 杉原 正芳<sup>6</sup>

<sup>1</sup>名大工, <sup>2</sup>ユーリッヒ研究機構, <sup>3</sup>名大エコトピア研, <sup>4</sup>金沢大工, <sup>5</sup>原研那珂, <sup>6</sup>ITER国際チーム

M. Okamoto<sup>1</sup>, Y. Kikuchi<sup>2</sup>, N. Ohno<sup>2</sup>, S. Takamura<sup>1</sup>, Y. Uesugi<sup>4</sup>, T. Ozeki<sup>5</sup>, Y. Kawano<sup>5</sup>, M. Sugihara<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Nagoya University; <sup>2</sup>IPP, FZJ; <sup>3</sup>ETSI, Nagoya University; <sup>4</sup>Faculty of Engineering, Kanazawa University; <sup>5</sup>JAERI; <sup>6</sup>ITER International Team

### 1. 背景・目的

トカマク型核融合炉の実現においてディスラプションは重要な問題のひとつである。ディスラプションとはプラズマの閉じ込めが急に破壊される現象であり、問題点として、第一壁やダイバータ板に大きな熱流が局所的に流れ込むことや、ハロー電流や渦電流による電磁力で装置に機械的負荷が加わること等が挙げられる。トカマク型核融合炉の実現のためには、ディスラプションの発生に伴う熱的・機械的負荷を極力回避する必要があるため、ディスラプション発生時の物理ならびにその回避法の確立に向けた研究が行われている[1]。

これまでの研究からディスラプションの発生はプラズマ電流密度分布等のプラズマの内部構造に依存していることが報告されている。小型トカマク装置はプラズマ内部のプロープによる直接計測が可能であるため、ディスラプション物理の解明を目的として、磁気・静電プロープを用いたプラズマ内部計測実験を行った。

### 2. 実験方法

磁気・静電プロープを真空容器内に挿入・固定し、オーミックによる電流駆動でプラズマ電流を増加させることで表面の安全係数  $q_a$  を減少させ、ディスラプションを発生させる (Fig. 1 より  $q_a$  が 3 を下回る程度で電

流減衰が開始)。また、外部に取り付けた磁気プロープからポロイダルモード解析を行うことで、ディスラプションの原因となるモードの特定を行う。

### 3. 実験結果

トリプルプロープ計測より、プラズマ電流立ち上げから約 0.6ms 後に電子温度の減少が確認された。外部磁気プロープを用いたポロイダルモード解析より、 $m = 2$  と 3 の磁気島の成長が原因でコアプラズマの熱が放出されたと考えられる (熱クエンチ)。

熱クエンチ時の磁気島の幅は、径方向磁場計測により  $m = 2$  でプラズマ半径の 15% 程度となり、 $m = 3$  では約 25% と評価され、電流の減衰に至るまで磁気島の幅に大きな変化は無いと評価されたが、 $q$  分布の時間変化から  $m = 2$  と 3 の共鳴面の位置は近づいていることを確認した。つまり  $m = 2$  と 3 の磁気島の重なることにより、入れ子状の磁気面が破壊され、閉じ込めが悪化し電流の減衰に至ったと推測することができる。Fig. 3 (a) から、電流減衰開始直前の  $q$  分布を外挿するとプラズマの中心部で  $q$  値が 1 を下回るような分布になっていることから、 $m = 1$  の内部キンク不安定性の発生もディスラプションの原因になっていると考えることができる。また、Fig. 3 (b) より電流減衰開始直後に非常に

短い時間 (~ 30  $\mu\text{s}$ ) でのプラズマ電流の周辺部への吐き出しを観測した。

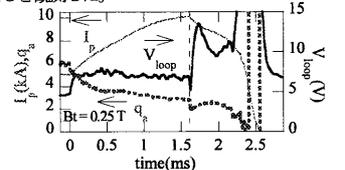


Fig. 1: HYBTOK-IIにおけるディスラプション放電波形。

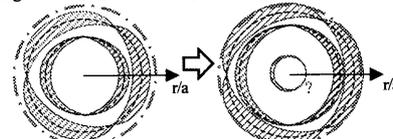


Fig. 2: 内部磁場構造の時間変化。

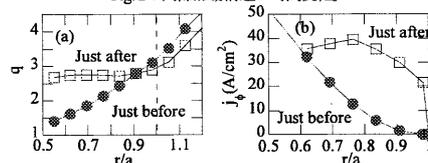


Fig. 3: 電流減衰開始前後の  $q$  分布(a)と電流密度分布(b)。  
[1]ITER Physics Basis, Nuclear Fusion 39 (1999) 12.