

30pC07

JT-60U における燃焼模擬実験による燃焼制御研究

Burn control study using burning plasma simulation experiments in JT-60U

竹永秀信, 久保博孝, 坂本宜照, 吉田麻衣子, 平塚一, 市毛尚志, 末岡通治, 川俣陽一, 三浦幸俊,

飯尾俊二¹⁾, 下村浩司¹⁾, 坂本隆一²⁾, 小林進二³⁾

原子力機構, ¹⁾東工大原子炉研, ²⁾核融合研, ³⁾京大エネ理工研

TAKENAGA Hidenobu, KUBO Hiroataka, SAKAMOTO Yoshiteru, YOSHIDA Maiko, HIRATSUKA Hajime, ICHIGE Hisashi, SUEOKA Michiharu,

KAWAMATA Yoichi, MIURA Yukitoshi, TSUJI-IIO Shunji¹⁾, SHIMOMURA Koji¹⁾, SAKAMOTO Ryuichi²⁾, KOBAYASHI Shinji³⁾

JAEA, ¹⁾ Tokyo Institute of Technology, ²⁾ NIFS, ³⁾ Kyoto University

JT-60U では、燃焼プラズマの制御性を明らかにするために、燃焼模擬実験による燃焼制御の研究を行っている。これまでに、DD 中性子発生率に比例した NB 加熱パワーを注入する自己加熱模擬と、蓄積エネルギー帰還制御を行う外部加熱模擬を同時に適用し、制御性を調べてきた。その結果、ELMy H モード及び負磁気シヤプラズマにおいて、自己加熱模擬用 NB パワーが増加した場合に外部加熱模擬用 NB パワーを減少させることにより、中性子発生率及び蓄積エネルギーをほぼ一定に維持できることを示した[1,2]。

今回新たに、DT 核融合反応係数の温度依存性を考慮するため、及びビームサーマル反応による中性子発生率への寄与を避けるために、電子密度(n_e)及びイオン温度(T_i)の実時間計測値[3]から自己加熱パワーを計算するロジックを開発した。ここでは、自己加熱パワーは、 $P_{NB} = n_e^2 \times f(T_i)$ で計算される。f は DT 核融合反応係数の温度依存性を考慮するための関数である。同ロジックを用いて、密度制御による燃焼制御性を調べるため、NB 加熱開始時の密度上昇とガスバフによる密度上昇に対する ELMy H モードプラズマの応答特性を調べた。図 1 (a), (b) にそれぞれ $f \propto T_i^2$, T_i^0 と仮定した場合の放電波形を示す。前者の依存性はイオン温度 10-20keV 程度での DT 核融合反応係数に相当し、後者の依存性はイオン温度 40-100keV 程度に相当する。(a) では、 $t=4$ 秒からのロジック適用後、密度及びイオン温度の上昇と自己加熱パワーの増加のループにより、入射可能 NB ユニットの上限に達した。その後、閉じ込め劣化により温度が減少している。ガスバフを行った場合は、密度は若干上昇したが閉じ込め劣化によりイオン温度が密度の上昇より大きく低下し、自己加熱模擬用 NB パワーは $t=5.5$ 秒近傍から減少を始めた。この後、加熱パワーと温度の減少にループが観測される。一方、(b) では NB 加熱と密度の相関が

弱いために、(a) の様なループは観測されない。この様に、異なる DT 核融合反応係数のイオン温度依存性に対して、異なる応答特性を示すことを明らかにした。

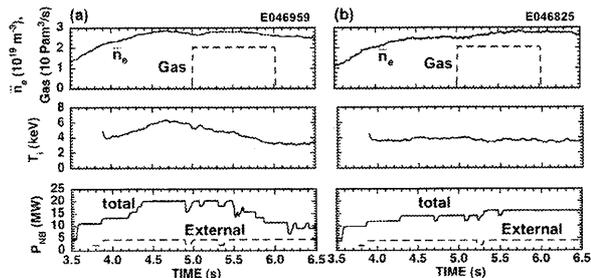


図1 燃焼模擬実験の放電波形。上：密度 (実線)、ガスバフ量 (点線)、中：実時間イオン温度測定値、下：総 NB 加熱パワー (実線)、外部加熱模擬 NB パワー (点線)。(a) $f \propto T_i^2$, (b) $f \propto T_i^0$ を仮定。

- [1] H. Takenaga et al., Fusion Science and Technology, **50** (2006) 76.
- [2] K. Shimomura et al., submitted to Fusion Engineering and Design.
- [3] S. Kobayashi et al., J. Plasma Fusion Res. **79**, 1043 (2003).

30pC08

JT-60U 非接触ダイバータプラズマにおける電離および再結合プラズマの 2 次元分布測定

Two-dimensional measurement of ionizing and recombining component in JT-60U detached divertor plasmas

藤本 加代子, 仲野 友英, 久保 博孝, 清水 勝宏, 澤田 圭司*, 川島 寿人, 朝倉 伸幸

原子力機構, *信州大工

K.Fujimoto, T.Nakano, H.Kubo, K.Shimizu, K.Sawada, H.Kawashima, and N.Asakura

Japan Atomic Energy Agency, *Shinshu University

核融合炉を実現するための重要課題のひとつであるダイバータ板への熱負荷の軽減には、非接触ダイバータプラズマが有効である。非接触ダイバータプラズマでは、プラズマがダイバータ板に到達するまでに再結合する低温領域(再結合プラズマ、 ~ 1 eV)と中性粒子が電離しプラズマとなる高温領域(電離プラズマ、5 eV)が 2 次元分布する。非接触ダイバータプラズマの理解にはこれらの 2 次元空間分布の診断が重要である。本研究では非接触ダイバータプラズマのエネルギー損失過程や原子分子過程の理解を目的に、電離および再結合プラズマの 2 次元空間分布を導出した。

電離および再結合プラズマの診断には重水素バルマー系列線(365 - 656 nm)の同時計測が有効である。本研究では測定波長範囲 350 - 800 nm の広帯域可視分光器を用いて非接触ダイバータプラズマを観測した。この分光器は縦 60 視線、横 32 視線によって約 1 cm の空間分解能を持つ。得られた線積分発光強度をトモグラフィー手法(最大エントロピー法)により 2 次元発光強度分布に再構成した。

今期の実験で D_α ($p=2-3$, 656.3 nm) から I ($p=2-9$, 383.5 nm) の重水素バルマー系列線を計測した。内側非接触-外側接触ダイバータプラズマにおける D_β ($p=2-4$, 486.1 nm) の 2 次元発光強度分布(D_β) を図 1 に示す。外側ダイバータ領域全体と内側ストライク点上部から X 点に向かって強い発光領域が存在する。同様に D_γ の 2 次元発光強度分布(D_γ) を再構成し、これらの発光強度比 $R_{exp}(D_\gamma, D_\beta) = I(D_\gamma) / I(D_\beta)$ を導出した。

$I(D_\beta)$, $I(D_\gamma)$ が電離および再結合成分のどちらから放射されているかを評価するため、発光強度比を衝突放射モデルで計算した。電離および再結合成分の発光強度比 $R_{ion}(D_\gamma, D_\beta)$, $R_{rec}(D_\gamma, D_\beta)$ と $R_{exp}(D_\gamma, D_\beta)$ を比較したものを図 2 に示す。線が $R_{ion}(D_\gamma, D_\beta)$ および $R_{rec}(D_\gamma, D_\beta)$ を、濃い灰色の領域が内側ストライク点上部の $R_{exp}(D_\gamma, D_\beta)$ を、薄い灰色の領域が外側ストライク点近傍の $R_{exp}(D_\gamma, D_\beta)$ を表す。内側ストライク点上部では $R_{exp}(D_\gamma, D_\beta) = 0.3 - 0.5$ であるため、 $I(D_\beta)$, $I(D_\gamma)$ は再結合成分が支配的であると考えられる。また外側ストライク点近傍では $R_{exp}(D_\gamma, D_\beta) < 0.2$ であるため、 $I(D_\beta)$, $I(D_\gamma)$ は電離成分が支配的であると考えられる。

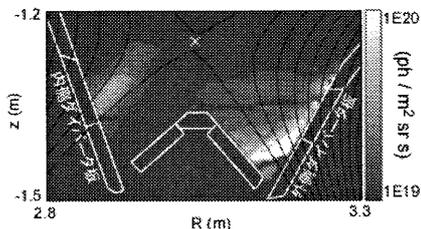


図 1 D_β の 2 次元発光強度分布

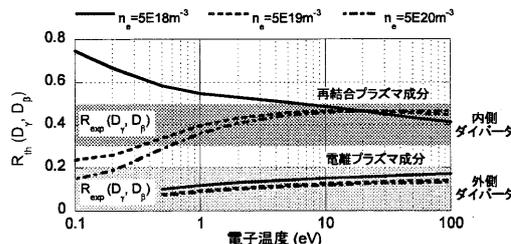


図 2 電離および再結合プラズマ成分の発光強度比