

01aA03P

JT-60U におけるプラズマ回転による抵抗性壁モード安定化実験

Stabilizing Resistive Wall Mode by Plasma Rotation on JT-60U

松永 剛、武智 学、坂本宜照、小出芳彦、鈴木隆博、藤田隆明、相羽信行、栗田源一、小関隆久、JT-60 チーム

日本原子力研究開発機構

G. Matsunaga, M. Takechi, Y. Sakamoto, Y. Koide, T. Suzuki et al.

Japan Atomic Energy Agency

外部キンク・バルーニングモードはプラズマを導体壁で囲むことにより、壁の形状や電気抵抗が決まる L/R 時間(数 ms)程度のゆっくりと成長する抵抗性壁モード(RWM)となる。このモードの安定化は自由境界 β 限界値を超えた領域でのプラズマ維持に繋がり重要である。このモードの安定化にプラズマ回転が重要であることが予想されている。すなわち、プラズマを回転させることで RWM を安定化し、自由境界 β 限界値を超えた β 値を維持することが可能となる。JT-60U において接線 NB により十分にプラズマを回転させることで、自由境界 β 限界値を超えた β 値の維持に成功した(図1)。この放電で β 値を一定に保ちながら、接線 NB の組合せを変えることでプラズマ回転を減速させると、10ms で成長する MHD 不安定性が発生しプラズマは β 崩壊に到った。JT-60U における壁の L/R 時間は 10ms 程度あり、観測した不安定性は $n=1$ の RWM と同定された。また、この RWM が発生したプラズマ回転は、RWM を駆動している $q=2$ 面において 0.2kHz 程度すなわち、アルヴェン周波数の 0.2%程度である。理論モデルで予想される RWM 安定化に必要な回転値はアルヴェン周波数の数%と言われており、本実験による回転値はその 1/10 程度である。この結果は、低回転といわれる ITER においてプラズマ回転により RWM 安定化が可能であることを意味する重要な結果と言える。本講演では、JT-60U で行なったプラズマ回転による RWM 安定化実験についての詳細を報告する。

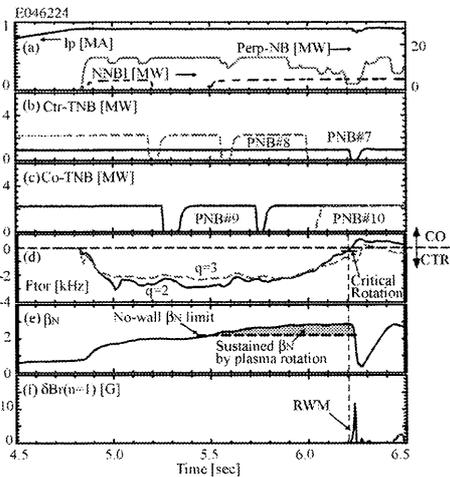


図 1 抵抗性壁モード安定化実験放電波形。(a)プラズマ電流と NNB 及び垂直 NB パワー。(b)CTR-NB 及び(c)CO-NB パワー。(d) $q=2$ 及び $q=3$ 面におけるトロイダルプラズマ回転。(e)規格化ベータ値。(f)磁場変動の $n=1$ 成分。

01aA04P

JT-60U における高 β プラズマの長時間維持

Long sustainment of high beta plasmas in JT-60U

大山直幸、諫山明彦、鈴木隆博、小出芳彦、竹永秀信、井手俊介、仲野友英、朝倉伸幸、久保博孝、武智学、坂本宜照、鎌田裕、浦野創、吉田麻衣子、都筑和泰、松永剛、C. Gormezano、JT-60 チーム

都筑和泰、松永剛、C. Gormezano、JT-60 チーム

原子力機構

N. Oyama, A. Isayama, T. Suzuki, Y. Koide, H. Takenaga, S. Ide, T. Nakano, N. Asakura, H. Kubo, M. Takechi, Y. Sakamoto, Y. Kamada,

H. Urano, M. Yoshida, K. Tsuzuki, G. Matsunaga, C. Gormezano and the JT-60 Team

JAEA Naka

JT-60U では、定常トカマク炉の実証に向け、規格化ベータ値 (β_N) と自発電流割合 (f_{BS}) の高い先進トカマクプラズマの開発を行っている。高 β プラズマの長時間維持については、2003-2004 年に行った長時間化改造の結果、 $\beta_N > 2.3$ を 22.3 秒間維持することに成功している[1]。しかし、従来のプラズマは閉じ込め性能が充分ではなく、 $\beta_N > 2.3$ を維持するために大きな加熱パワーが必要であった。フェライト鋼を設置してトロイダル磁場リップルを低減した JT-60U では、高速イオンの損失低減によって同じ入射パワーにおける吸収パワーが 30-50%程度増加した。そのため、同じ β_N を維持するために必要な NB ユニット数が低減でき、プラズマ電流と逆方向に入射している NBI パワーを約 1MW 減少することができた。その結果、プラズマ電流と同方向のトロイダル回転が得られるようになるとともに、規格化半径 0.6 以下の中心領域に形成されている内部輸送障壁の性能改善が、特に電子系について見られた。これらの改善により、 $\beta_N > 2.3$ の維持時間を加熱装置の最大入射時間(30 秒)に近い 28.6 秒間に伸張することができた。

以前の放電と比較して、これらのプラズマでは、少ない加熱パワーで同程度の β_N が維持できており、 $H_{H98(y,2)} \sim 1$ という高い閉じ込め性能が得られている。特に、蓄積エネルギーにおける熱化成分割合が高いことが特徴である。そのため、核融合出力の指標である β_N と $H_{H98(y,2)}$ の積の維持時間も大幅に伸張することができた(図1)。円で示した放電は、ITER の標準運転シナリオ程度の $\beta_N \cdot H_{H98(y,2)}$ (エネルギー増倍率の指標) と高い自発電流割合(36-45%)を持っており、外部駆動電流の割合を増やして燃焼時間(中性子フルエンス)を伸張する目的で提案された ITER の「ハイブリッド運転」に適用できる可能性がある。

講演では、 $\beta_N \cdot H_{H98(y,2)}$ の維持時間を制限している、リサイクリング上昇と閉じ込め性能劣化との関係についても報告する。

[1] Ide S. and the JT-60 Team 2005 Nucl. Fusion 45 S48.

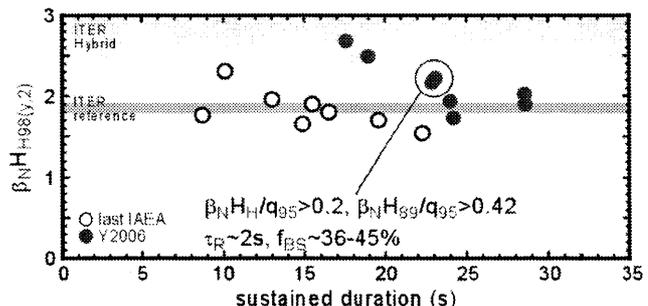


図1 規格化 β 値と閉じ込め改善度の積の維持時間