第 7 回若手科学者によるプラズマ研究会 2004 年 3 月 17-19 日 於原研那珂

燃焼プラズマに向けた JT-60U 実験の最近の研究成果

鈴木 隆博、JT-60 チーム

定常化研究と長時間化改造

トカマクプラズマの定常化研究のために、JT-60U は 2003 年に放電・計測・加熱の各制御システムの長時間化改造を行った。従来の 15 秒放電を大きく伸長した 65 秒までの放電と計測を可能にした。加熱に関しては、8MW の接線入射正イオン源 NB(接線 P-NB)を 30 秒入射可能にすると共に負イオン源 NB(N-NB)を 2MW で 30 秒間入射可能にし、垂直入射正イオン源 NB(10 秒間入射)を含め 14MW の NB 加熱を 30 秒間行えるようにした。また 60 秒間の RF 加熱(低域混成(LH)波: 1.7MW, 電子サイクロトロン(EC)波: 0.3MW)が可能になった。長時間化改造により、ダイバータ配位においてプラズマ電流 I_p=0.7MA をほぼ 60 秒間維持した。また、I_p=1MA の H モードプラズマを 30 秒間(上記の加熱時間の制限)維持した。電子密度は H モード維持開始 20 秒程度以降からガス供給無しで定常に達しており、さらにその後ガス供給無しでも電子密度が上昇していることからリサイクリングによる粒子供給が支配的になる状態が得られた。これは従来の 10 秒間の H モード維持では観測されなかった現象である。また、長時間スケールでの電流分布の変化に伴い発生する新古典テアリングモード(NTM)を回避して、電流分布の定常状態で高規格化ベータβ_Nを維持することが重要である。JT-60U ではβ_N=2.1 を 20 秒間維持することに成功した(I_p=1MA, B_t=1.7T)。モーショナルシュタルク効果による磁場分布計測によるとプラズマ電流分布はβ_N=2.1 の維持開始後 10 秒程度で定常に達しており、NTM は観測されていない。ITER 標準運転で想定されるβ_N=1.9 以上で、電流分布と圧力分布の自己無撞着な定常状態を実証した。

先進トカマク研究

炉の経済性にとって重要な高い安定性(β_N)と高い自発電流割合(f_{BS})を有する先進トカマク(AT)の研究を行っている。安定性に関しては、大きな NTM の発生なしに、β_N=3 を 6.2 秒間(加熱時間の制限)準定常に維持した(I_p=1MA, B_t=1.7T)。従来のβ_N=3 維持時間は 0.8 秒であったが、(i)表面での安全係数を下げて(q_{95}=2.2)主要な NTM に関連する有理面(q=3/2, 2)を圧力勾配の小さな周辺部に移動させると共に、(ii)加熱分布を広くして有理面での圧力勾配を小さくして、β_N=3 の準定常維持を達成した。自発電流割合については、I_p=0.8MA, B_t=3.4T, q_{95}=8.6 のプラズマにおいて f_{BS}=75%を 7.4 秒間(加熱時間の制限)準定常に維持した。NB 駆動電流を加えた非誘導電流はプラズマ電流の 95%に達した。蓄積エネルギーの帰還制御および接線 P-NB によるトロイダル回転速度の調整を行い、大きな不安定性の発生無く、圧力勾配に比例する自発電流を高めることができた。

高密度での閉じ込め改善研究

ダイバータへの熱負荷低減は定常運転において重要になり、ダイバータでの放射損失割合を高める必要がある。ダイバータでの放射損失率を高めるために主プラズマの密度が上昇すると、あるいはプラズマの圧力を上げるために主プラズマの密度を上げると、閉じ込め性能の劣化が観測される。閉じ込めの劣化を避け、高放射損失率および高密度と高閉じ込め性能の両立を目指した研究を行っている。アルゴンおよび燃料(D_2)ガス入射と強磁場側からの燃料ペレット入射の組み合わせにより、Greenwald 密度の 92%の高電子密度で高放射損失率 90%、高閉じ込め H_{H98y2}=0.96 を達成した。

安全係数分布の実時間制御

安全係数分布はトカマクプラズマにおける閉じ込め、安定性、そして炉の経済性に密接に関係している。モーショナルシュタルク効果(MSE)による安全係数分布の実時間評価と LH 波による電流駆動を用いた安全係数分布の実時間制御システムを開発し、2004 年から実験を開始した。実験は LH 波アンテナのコンディショニング中だったため入射パワーは 0.6MW に限られたが、実時間制御の適用による安全係数分布の変化を観測している。