

MHD 安定性トピカルグループ会合（第19回）の概要

会合の全体概要

本トピカルグループ(TG)では、ディスラプション、抵抗性壁モード(RWM)、新古典テアリングモード(NTM)、鋸歯状振動、誤差磁場、プラズマ制御などが研究対象である。最近の会合では、共同実験やワーキンググループ(WG: ITER 機構から提示されたテーマに対し 1-2 年の期間でまとめて報告書を提出する活動)の活動報告や議論にほとんどの時間が割り当てられている。また、最近では各研究領域の 3 次元効果に関する報告も多くなっている。

各研究領域の主な発表

ディスラプションでは ITER での課題に関連した報告が多くなされている。プラズマ熱エネルギーを均一に放散する手法として大量不純物入射(MMI)が有効と考えられていて、そのうち大量ガスパフ(MGI)の実験結果が最も多く報告されている。MMI の課題として放射損失のトロイダル非対称性がある。この非対称性を小さくするために ITER では複数のトロイダル位置からの MMI が考えられていて、実機での結果が待たれている。C-mod では最近 2 系統目のガスジェット入射装置を設置し、入射時刻を近づけるとともに放射損失のトロイダル非対称性が低くなるとの報告があった。MMI では供給効率 F_{eff} (入射ガス量に対するプラズマ密度上昇)も重要なパラメータである。AUG からは強磁場側からの MGI により F_{eff} が 2 倍程度になるとの報告があった。熱クエンチ後に発生する逃走電子(RE)は ITER では深刻な課題と考えられていて、抑制手法の候補として、(i)密度上昇('Rosenbluth density' n_{crit} 以上)による RE 減衰、(ii)電場の低減による RE 減衰、(iii)RE の de-confinement、(iv)RE ビームの制御および減衰、などが挙げられている。(i)に関しては、AUG の上記の強磁場側 MGI でも $0.2n_{\text{crit}}$ 程度であったが(これまでと同程度)、今後バルブ数を増やす予定との報告があった。(ii)に関連して、RE 発生中の ECH により RE が減少する場合(電場の減少)と増加する場合(高速電子の増加)があるとの報告が HL-2A よりあった。(iii)の手法として、ガスジェットによる磁場擾乱および 2 次的ディスラプション誘発による RE de-confinement が考えられ、T-10、Tore Supra、AUG で検討が進められているとの紹介があった。(iv)に関しては、DIII-D で RE ビームの位置制御に成功し RE 実験の手法として用いられているとの報告があった。一方、この手法の ITER への適用性を DINA コードで解析した例が報告され、ITER では電源容量の点から難しいとの説明があった。MMI 装置として、高速応答ガスバルブ、カートリッジ式 MGI 装置(プラズマ近傍にガス入りカートリッジを設置し使用時には一端を破裂させる)、shattered pellet(大型のペレットを反射板に当てて破碎して入射)などの開発や実機への装備の状況が紹介された。ハロー電流に関連しては、ハロー領域の温度や密度を実験的に計測することが容易でないことからシミュレーションによるモデリングが WG ベースで行われつつある。DINA および TSC コードで条件を合わせてシミュレーションした結果、電流減衰やプラズマ位置の時間発展がよく合うとの報告が JAEA からあった。このほか、ハロー電流のトロイダル非対称性による熱負荷の局在、およびハロー電流による非対称電磁力の回転と ITER 機器との相互作用(機器の固有振動数との共振)なども検討課題として挙げられている。

RWM に関しては、ITER の定常運転における RWM 安定性について検討が行われている。RWM の帰還制御に関して、帰還制御に使用する磁気センサーへのノイズの評価、ノイズが動的誤差磁場補正へ与える影響、RWM 帰還制御時に誤差磁場補正コイルに発生する電流の評価に関する結果が報告された。また、MISK、MARS-K、HAGIS 等のコードに運動論効果を入れたベンチマークが進行中であるとの報告があった。

NTM に関しては、実時間制御を実証してその際の問題点を抽出することが行われている。また、ITER における限られた計測装置のもとでの NTM 安定化のシミュレーションに関する報告があった。その他、回転や回転シアと NTM 発生との関連が DIII-D から指摘されていてその理論モデルに関する発表があった。

鋸歯状振動は、その周期が長いほど崩壊後に NTM が誘起されやすいとの報告が過去に JET からあった。これに関連して、実時間で鋸歯状振動周期を制御(鋸歯状振動崩壊を実時間検知し指定された周期になるように ECCD で不安定化)した例が TCV からあった。また、鋸歯状振動制御を目的して、ECCD を用いた実験が AUG や DIII-D、ICRH を用いた実験が EAST や JET で予定されているとの説明があった。

誤差磁場(EF)に関しては、ITER におけるトロイダル/ポロイダルコイルの設置誤差、テストブランケットモジュール、NB の打ち消し磁場などによる誤差磁場を 2 種類のモデル('3-mode EF criterion'、'overlap EF criterion')に基づき評価した結果が報告された。後者モデルに基づくモードロック発生誤差磁場(各装置からのスケーリングから外挿)と同程度であるのに対し、前者モデルに基づく 1/4 程度に減らす必要があるとの報告があった。また、EF 補正の際は、有理面における共鳴成分だけでなく非共鳴成分についても考慮する必要があるとの指摘があった。このほか、LHD における誤差磁場実験や、LHD で観測されている磁気島 healing(自発的な磁気島縮小: 低衝突度・高ベータ領域で発現)を説明する理論モデルの紹介があった。

日本からの貢献

日本からの貢献はこれまでは JT-60U からのものが多かったが、シャットダウン後は発表件数が減少傾向にある。実時間制御の要件を検討する WG 活動では過去の実験での知見に基づいた貢献がなされている。上記のようにディスラプション緩和が本 TG の最重要課題であり、JT-60U の過去のデータ(MGI、ハロー電流実験など)の貢献が現在でも若干はある。しかし、他装置では機器の増強が精力的に行われているので JT-60U の既存データを生かすには工夫が必要である。ITER シミュレーションではハロー電流のモデリングに関する貢献がある。ヘリカル系から共同実験や WG 活動への貢献は対象が狭かったこともありこれまで多くなかったが、LHD の 3 次元コードのトカマクへの適用や誤差磁場/磁気島物理など、3 次元効果などに関する貢献が今後期待できる。

以上