

ITPA 高エネルギー粒子物理トピカルグループ会合（第8回）の概要

本グループでは、人類が初めて燃焼プラズマを扱う ITER の建設・設計・運転に、高エネルギー粒子物理の観点から貢献すべく活動を行っている。主たるトピックは以下の 5 つである：1. 高速イオン励起不安定性とその影響の理解、2. 非軸対称磁場が高速イオンに与える影響、3. 高速イオンとバルクプラズマ起因 MHD の相互作用、4. 中性粒子ビームによる加熱や電流駆動の理解の深化、5. 逃走電子の理解。これらのトピックについて、実験と理論あるいは数値計算を用いて、検討・議論を行なっている。本会合（第8回）は日米 MHD ワークショップ、ITPA MHD トピカルグループとの合同会合として実施された。

上記 1 の一貫として高速イオン励起不安定性の安定性や挙動を解析するコードの信頼性を上げることで ITER の運転の予測精度を上げることを目的として、コードのベンチマークを実施している。線形安定性解析コードのベンチマーク活動については、ITER の最新の 9MA 定常運転シナリオでベンチマーク用のデータが準備された旨が報告された。加えて、LIGKA コードによる解析結果が報告された。また、実験を元にしたベンチマークケースとして使用できる JET の DT 実験のデータが ITER 機構 (IO) の計算機に準備された旨が報告された。不安定性の飽和や不安定性と粒子の相互作用を考慮できる非線形コードについては、アスペクト比 10 の円形トカマクにおける $n=6$ の TAE モードに対するベンチマーク結果が MEGA (核融合研), HMGC, TAEFL コードより報告された。概ね一致する結果を得た。 $n=6$ の TAE モードに対するベンチマークは詳細を議論する形で引き続き行うと共に、計測が整った AE 実験を対象としたベンチマークにも線形安定性解析コードと共同で取り組んでいくこととした。また、 $n=6$ の TAE モードに関する線形過程のベンチマークに関する IAEA 共同論文の内容の現状と今後の方針の議論も行った。さらに、各々のコードの最近の進展が発表され、MEGA コードを用いた ITER 9MA 定常シナリオでの解析が実施され、高速イオンに与える影響が初めて報告された。また、1 に関する実験の成果報告もあった。NSTX では、“TAE 不安定性雪崩”時に観測される中性子発生率の減少について、計測器と NOVA コードと ORBIT コードを用いた詳細な解析結果が実施され、中性子発生率の減少は高速イオンの損失よりはむしろ高速イオンのエネルギーが TAE にわたっていることが支配的に寄与していることが明らかになった。LHD では、EGAM 不安定性発生時に、低エネルギーの中性粒子束の増加が観測され、これがバルクイオンの温度上昇として説明できることがわかった。すなわち、EGAM によるバルクイオン加熱の可能性が報告された。不安定性の非線形発展に関する共同実験では、LHD と MAST 共に非線形発展のキーパラメータである E_A/E_{crit} スキャンが実施された。BAAE 不安定性の非線形発展が観測された HL-2A もこの共同実験に参加することとなった。これらの実験により、不安定性と高速イオンの相互作用の理解が深まる。

上記 2 に関わる共同実験の成果として、DIII-D と AUG では RMP/ELM コイル擾乱磁場と高速イオンの相互作用が損失高速イオン計測で観測された旨が報告された。KSTAR でも RMP コイルの磁場による高速イオンの輸送が観測された旨報告があり、KSTAR もこの共同実験に参加することとなった。さらに、これらの現象を定量的に理解するための間近の実験計画が議論された。テスト粒子を用いた高速イオン閉じ込め評価については、DRIFT コードを用いた ITER の ELM コイルの影響評価の報告があった。OFMC コード (原子力機構) の全軌道追跡拡張版の報告があった。ITER のリップル磁場環境下では全軌道追跡と案内中心の差は、モンテカルロ誤差の範囲であるという結果であった。

上記 3 に関わる実験結果として、DIII-D と AUG より、ELM 時の高速イオン損失観測が報告された。ELM と高速イオンの相互作用は最近のホットトピックの 1 つであり、共同実験として研究を進めている。

上記 4 に関しては、揺動による高速イオン輸送が発生し、NB 加熱や電流駆動に影響を与えていることを示唆する実験結果を契機として、その理論的裏付けとなるコードのベンチマークを共同実験の 1 つとして実施している。前回の会議で決定されたジャイロ運動論的揺動数

値計算コードによる DIII-D の実験結果を用いたベンチマークの進捗状況が報告された。当初、周辺 NB 入射の実験結果を用いる予定であったが、プラズマ回転の影響の取り扱いの難しさから、中心入射の実験結果を用いることとし、必要なデータが準備された旨報告があった。

上記 5 は、MHD トピカルグループとの合同セッションの中で報告があった。I0 より ITER の現在時点の課題が示され、続いて最近の実験結果と数値計算結果も多数報告されたが、ITER の課題への応答には、必要なパラメータ領域での実験データの拡充とそれに基づくモデルの改良が必要である。

これらのトピックに加えて、ITER において損失高速イオンの計測が全く準備されていないことが指摘され、その対応が議論された。ITER のスコープを鑑みると高速イオン研究は非常に重要であり、その研究を実施するためには、損失高速イオンプローブの設置が必須であるという共通認識に至った。その旨を高エネルギー粒子物理トピカルグループより I0 に強く伝えることとした。