

「輸送と閉じ込め物理」トピカルグループ第8回会合

開催日時：2012年4月2日-5日（3.5日間）

開催場所：等離子体物理研究所（中国，合肥）

出席者数：99名（中国の学生が多々参加のため）

日本からの出席者：田中謙治（NIFS）、吉田麻衣子（JAEA）、東井和夫（NIFS）

会合の全体概要

ITERでのプラズマ性能の評価や運転シナリオ開発に貢献するために、本トピカルグループ(TG)では、粒子輸送と供給、温度分布の硬直性(熱輸送)、運動量輸送とプラズマ回転、LH遷移条件と物理機構、乱流輸送、3次元磁場のプラズマ閉じ込めへの影響などの研究を進めている。本グループでは、個々の装置での研究成果に加え、装置間比較実験、国際データベース活動、理論・シミュレーションと実験の比較を駆使し、互いに協力・競争しながら研究活動を進めている。また、他のグループとジョイントセッションを設けることで、情報を共有したり活動を伴にしたりと連携しながらITERの課題に立ち向かっている。

主な発表・議論

密度分布は、核融合出力、電流分布、不純物の蓄積等のプラズマ性能に深く関わるため、その密度分布を決定づける粒子輸送と供給の解明に向けて、多くの装置での実験研究や理論的な解釈と予測が進められている。実験的には、密度勾配は規格化衝突周波数の減少に伴って増加する傾向が、ASDEX Upgrade、C-Mod、JET、JT-60等の装置で観測されている。この密度勾配と規格化衝突周波数の関係は、重水素プラズマだけではなくヘリウムプラズマにおいてもJETにおいて観測された。この物理的な解釈としては、プラズマ中の乱流の状態によって粒子フラックスが内向きと外向きになり得るということがジャイロ運動論を用いたシミュレーションより提言されている。ASDEX Upgradeではイオン温度勾配モードが不安定な領域から補足電子モードが不安定な領域に移行する領域において、最も密度勾配が大きくなることを示し、これは前述の理論と矛盾しないことを報告した。一方、DIII-Dでは、規格化衝突周波数以外の無次元量を固定した状態で規格化衝突周波数をスキャンしたところ、衝突周波数が高い場合も低い場合も密度分布が同じであったことが示され、その違いの解釈や乱流計測などの研究が必要であることが議論された。ITERでは、高密度でも粒子供給に効果的なペレットを粒子供給源として使用する予定である。MASTでは、ペレット入射により規格化プラズマ半径 ~ 0.9 での密度が上昇し、内側と外側に粒子フラックスが生じることが観測されている。また、この実験結果は gradB ドリフトの効果をいれた輸送コードによる計算結果と一致することが報告された。

トロイダル回転は、プラズマの安定性と閉じ込め改善に重要な役割を担っているため、その構成要素である、運動量輸送、トルク、自発回転の評価と特性の解明が実験と理論の両面で精力的に進められている。その中でも、未解明である自発回転の物理機構と運動量輸送の特性がグループの重要なテーマとしてここ数年続けてセッションが設けられており、今回もJT-60（日本）、EAST（中国）、HL-2A（中国）、KSTAR（韓国）、NSTX（米国）から個々の装置の結果、装置比較実験から3件の報告、理論の2件の合計10件の報告があった。自発回転に関しては、JT-60から、電子サイクロトロン加熱(ECH)入射時に、プラズマ電流と逆方向の自発回転が発生することと運動量輸送の劣化がおこることが報告された。EASTでは、オーミック加熱のプラズマにおいて、LHCDのパワーを増加させると自発回転の方向がプラズマ電流と逆方向から順方向に変わる現象が観測された。自発回転の発生機構としては、プラズマ中の乱流が運動量フラックスを生じさせることが理論的に予測されている。この乱流による自発回転は周辺部だけではなく、プラズマコア部にも存在しうること、そして内部輸送障壁のし

きい値パワーに影響することが報告された。運動量輸送に関しては、JAEA の委員が主担当として進めている 5 つの装置による国際データベース活動と解析に加え、規格化衝突周波数や安全係数に対する運動量輸送特性を調べるための装置間比較実験の進捗について報告があった。

ITER では、RMP コイルが作る摂動磁場により ELM 制御を予定しているが、この摂動磁場（3次元磁場）のコアプラズマへの影響を評価することが求められている。本グループでは 3次元磁場の乱流や輸送への影響を、ステラレータとトカマクの比較を行いながらその解明に着手している。DIII-D では RMP 印加時にペDESTAL の密度と幅の両方が減少していることが観測された。この時、BES で計測した密度揺動が増加しているため、乱流的な粒子輸送が生じているという解釈であった。一方、ASDEX Upgrade では、B コイルを印加すると時間遅れを持ってペDESTAL 部の電子密度が上昇することが示された。これは、type-I ELM が抑制されることで粒子閉じこめが良くなったと提言された。LHD からは、乱流揺動計測により、ELM free 状態の遷移は自発的に起こり遷移後密度が上昇し、乱流揺動が減少することが報告された。また、ジャイロ運動論コードを用いた線形計算と比較をすることで、乱流輸送と密度分布の関係の解釈が進められている。また、 $n=1$ の RMP による ELM 制御が観測されたこと、ELM の振幅の減少に伴い周波数が増加していること、この時エネルギー閉じ込めが劣化していないことが報告された。

その他、装置間比較実験としてベータ値スケーリング、L-H 遷移パワーや密度依存性、HH ~ 1 での閉じ込め特性、I モード特性、モデルの検証等が報告及び議論された。