

■ ITPA(国際トカマク物理活動)会合報告(79)

分野: 「輸送と閉じ込め」¹, 「MHD安定性」²

開催日: 2021年9月13日~16日¹,
2021年10月11日~15日²

場所: リモート会議

担当委員:

今寺賢志(京大)¹, 大谷芳明(量研)¹, 田中謙治(核融合研)¹, 田村直樹(核融合研)¹, 成田絵美(量研)¹, 本多充(京大)¹, 吉田麻衣子(量研)¹, 諫山明彦(量研)², 井上静雄(量研)², 榊原悟(核融合研)², 古川勝(鳥取大)², 政宗貞男(中部大)², 松山顕之(量研)², 渡邊清政(核融合研)²

(下線は当該グループの会合への出席者を示す. 所属名は会合開催当時のもの.)

次回会合の予定(開催日程, 開催場所)を以下に示す.

会合名	開催日程	開催場所
輸送と閉じ込め	2022年3月29日~4月1日	サンディエゴ(米国)
MHD安定性	2022年4月4日~8日(暫定)	リモート会議

1. 「輸送と閉じ込め」

第27回となる本会合は新型コロナウイルス感染症の影響のため全セッションリモートで行われ, 50名(日本7名, 欧州22名, 米国10名, 中国6名, 韓国1名, ロシア2名, ITER機構2名)が参加した. 装置間比較実験及び合同研究活動として, 粒子輸送への同位体効果及び密度ピーキング, 磁場の三次元効果, Iモードプラズマ特性, Lモードプラズマ乱流輸送モデリング, ITER核融合出力前運転(PFPO)のモデリング, ジャイロ運動論シミュレーション用データベースに関するセッションが設けられた. 最近の傾向として, ITER PFPO フェーズに向けて, 同位体によるプラズマの各種輸送やLH遷移パワーの研究が精力的に行われている. また, 簡約化されたジャイロ運動論/流体モデルによる, Lモードプラズマの中心から周辺までの密度及び温度の再現性が大きく進展していることが見受けられた. ITER機構からは, ITPAの1次元データベースとITERのデータ解析インフラストラクチャ(IMAS)との連携の重要性が強調された. 上記セッションに加え, ITPA活動をまとめたNuclear Fusion誌の特別号について議論がなされた.

粒子輸送への同位体効果及び密度ピーキングのセッションでは, JETにおいて無次元量を合わせたイオンサイクロトロン波帯加熱プラズマと中性粒子ビーム加熱プラズマの実験結果の比較を行った結果, 後者では中性粒子ビームによる粒子供給のために密度勾配は2倍程度増大したことが報告された. TCVの軽水素と重水素のオーミック加熱プラズマにおいて, 密度変調実験を行うことで, 密度分布への同位体効果は顕著でなかったが, 粒子の拡散係数と内向きの対流速度は, 重水素プラズマの方

が小さく, その傾向は密度の増加とともに顕著になることが報告された.

磁場の三次元効果のセッションでは, プラズマ周辺部のストキャスティック磁場領域における非両極性の磁場に平行方向の電子粒子輸送と垂直方向のイオン粒子輸送を考慮したモデルによって, 粒子の流出に伴うプラズマ半径方向に渡る密度減少を再現できるとの報告があった. 一方で, 電子温度が過小評価されている課題も報告された.

Iモードプラズマ特性のセッションでは, Alcator C-ModとASDEX Upgradeより, ベデスタル緩和事象によるエネルギー損失は衝突周波数とともに上昇するが, 絶対値はELMによる損失より小さいこと, EASTからはNe不純物入射により非接触内側ダイバータが得られたこと等が報告された.

Lモードプラズマ乱流輸送モデリングに関するセッションでは, 簡約化されたジャイロ流体モデルで用いる乱流飽和機構の反映(帯状流シア, マルチスケール乱流, 電位揺動のポロイダル角度依存性等)と実験との比較について, これまでのまとめが報告された.

ITER PFPOのモデリングのセッションでは, 上述した簡略化されたジャイロ流体モデル(TGLF-SAT2)により, ASDEX Upgradeの各種スキャン(電子サイクロトロン加熱パワー, 電子密度, プラズマ電流, 電子/イオン加熱割合)した軽水素及び重水素Lモードプラズマの温度分布が概ね再現されることが示された. DIII-Dの軽水素Lモードプラズマ及びJETの重水素Lモードプラズマにおいても同様の結果が示された.

ジャイロ運動論シミュレーション用データベースのセッションでは, ジャイロ運動論モデルの実験との比較, コード間のベンチマーク, データマイニング, 簡略化モデル構築を目的として, 各モジュールの開発が進められている. データベースを用いた一例として, ITERのNe不純物入射時の簡略モデルと詳細モデル(SOLPS)の比較が示された. また, IMAS形式でのインプット・アウトプットデータにも対応していることが報告された.

ITPA活動をまとめたNuclear Fusion誌の特別号においては, 論文の範囲, 形式, 工程, ゲスト編集者の役割等が書かれた付託事項について議長から報告された. また, 各セッションの主著者や議長により作成された論文概要(Extended Synopsis)や輸送と閉じ込めトピカルグループの意図する方針は, ゲスト編集者から概ね合意が得られたことが共有された. ゲスト編集者との会合に向けて, Extended Synopsisへのコメントの回答や一般的な理論研究の位置づけについて, 輸送と閉じ込めトピカルグループの意見を集約した.

2. 「MHD安定性」

第38回となる本会合には, 日本4名, 欧州29名, 米国21名, 中国17名, ロシア2名, 韓国3名, インド2名, ITER機構9名が参加した. 開催時間は, 時差の関係から日本時間で21~0時であった. 今回は, 共同実験/共同解析のほか, ITPAに関するNuclear Fusion誌特別号

(ITPA Special Issue ‘On the Path to Burning Plasma Operation’) について重点的に議論した。

ITERのディスラプション緩和システム(DMS)について報告があった。DMSでは2023年第2四半期の最終設計報告に向けて準備が進んでいる。DMSとして装備される粉碎ペレット入射(SPI)装置は、#2, #8, #14セクション斜上ポートに1系統ずつ、#2セクション水平ポートに12系統、#8, #17セクション水平ポートに6系統のシステムが装備される。水平ポートでは垂直方向に6系統装備され、このうち上側及び下側の2系統はそれぞれ上方向及び下方向に入射されるようになっており、プラズマが上または下方向に移動してもプラズマに向けて入射できるようになっていることが報告された。

各装置におけるSPI実験の状況も報告された。KSTARからは、2系統のSPI装置(トロイダル方向に180度離れた位置に設置)について、2系統の入射時間のずれが短いほど電流クエンチ時間が短いとの報告があった。DIII-Dからは、性能を向上したトムソン散乱計測装置により、SPI後の電子温度及び電子密度の分布が0.3msごとに測定できたとの報告があった。ASDEX UpgradeでもSPI装置の開発が進んでいて、装置単体の試験として、射出された破片を高速カメラで撮影したデータの解析が進んでいるとの報告があった。また、INDEX, JOREK, M3D-C1, NIMRODなどのコードを用いた解析や実験データとの比較が進んでいることが報告された。

新古典テアリングモード(NTM)に関して、DIII-DのITERベースラインシナリオ実験において、解析した130ショットのうちの70%について、ディスラプションに至る $m/n=2/1$ モードは、 $m/n=4/3$ 及び $3/2$ のNTMと $m/n=1/1$ の鋸歯状振動前駆振動のカップリングにより引き起こされているとの報告があった(m はトロイダルモード数、 n はトロイダルモード数)。また、EASTの

$m/n=2/1$ のNTMについて、NTM発生後に0.45MWの電子サイクロトロン波を入射した場合は部分的にしか安定化できなかったが、NTM発生前に入射した場合には発生が抑制できたとの報告があった。

ロックモードが発生する誤差磁場強度に関する共同実験では、COMPASS, DIII-D, EAST, Alcator C-Mod, JET, KSTAR, NSTXのデータが集まっていて、KSTARの $n=2$ モードのデータが最近追加されたことが報告された。また、MAST-Uにおいて同様の実験が行われていることや、EASTにおいて低域混成波入射プラズマでかつ電子温度の高い領域のデータが集められていることが報告された。

軸対称制御に関する共同実験に関して、ELM付きプラズマにおいて位置制御を一時停止してその後復帰した際に運転が維持できる垂直位置の変化量に関する結果がKSTARから報告された。2cm以下(小半径の5%)であれば維持可能という結果であり、DIII-Dと同程度であると報告された。

ITPAに関するNuclear Fusion特別号について、本トピカルグループでは今年春の会合以降、章立てや主著者についてメールベースで議論を行った。その結果について本会合について議論を行った。章立ては、序章の後、鋸歯状振動、NTM、抵抗性壁モード、誤差磁場の節からなる“MHD stability”の章、ディスラプションの回避・予測・緩和・モデリング等に関する“Disruptions”の章、ITERにおける制御に関する“Plasma magnetic control in ITER”の章から構成される。本会合では、各節の概要に関する主著者による説明及び参加者による質疑が行われた。

(原稿受付日：2021年12月2日)