

■ ITPA(国際トカマク物理活動)会合報告(77)

分野: 「輸送と閉じ込め」¹, 「MHD 安定性」²

開催日: 2021年3月22日~25日¹, 22日~26日²

場所: リモート会議

担当委員: 井戸毅(九大)¹, 田中謙治(核融合研)¹, 田村直樹(核融合研)¹, 本多充(量研)¹, 成田絵美(量研)¹, 吉田麻衣子(量研)¹, 今寺賢志(京大)¹, 諫山明彦(量研)², 榊原悟(核融合研)², 白石淳也(量研)², 古川勝(鳥取大)², 政宗貞男(中部大)², 松永剛(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	2021年9月13-17日	リモート会議
MHD安定性	2021年10月11-15日 (暫定)	リモート会議

1. 「輸送と閉じ込め」

第26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, 40名(日本7名, 欧州20名, 米国7名, 中国3名, 韓国1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, イオンと電子の臨界温度勾配と分布硬直性, 不純物輸送, ペレット入射時の粒子輸送, ニューラルネットワークモデルによる第一原理シミュレーションを模倣するモデリングに関するセッションが設けられた。最近の傾向は, 実験観測を簡約化されたジャイロ運動論/流体モデルで説明し, 計算コストを抑えつつITER予測の精度を上げる研究に重きが置かれている。上記セッションに加え, ITPA活動をまとめた Nuclear Fusion 誌の特別号と (ITER Physics Basis の代替案), 水素同位体効果に関する合同研究の提案について議論がされた。

イオンと電子の臨界温度勾配と分布の硬直性のセッションでは, 実験で観測されている臨界温度勾配と分布の硬直性について, 準線形モデルを用いて予測する試みが続けられている。今回は, 高速イオンによる乱流安定化効果を検証し, 高速イオン駆動モードの一つであるトロイダルアルヴェン固有モード(TAE)が顕著になると, そのモードが帯状流と非線形的に相互作用し, 帯状流がイオン温度勾配不安定性を抑制するという局所 δf ジャイロ運動論コードGENEによる計算結果が報告された。

不純物輸送のセッションでは, タングステン輸送と軽不純物輸送の物理機構の解明が進められている。タングステンのプラズマ・コア部への蓄積について, 大域 full-f ジャイロ運動論コードGT5Dで評価できる動的な径電場の生成が, 新古典粒子輸送(内向きの粒子束)を増加させるとの説明がなされた。ジャイロ運動論モデルの検証に使用する軽不純物(ボロン)のデータベースが, ASDEX

Upgrade のデータを基に構築された。

ニューラルネットワークモデルによる第一原理シミュレーションを模倣するモデリングのセッションでは, 準線形ジャイロ運動論モデル QuaLiKiz を模倣した QLKNN の開発 (QLKNN-10D, QLKNN-15D) とプラズマ予測への適用や, JT-60U 実験とジャイロ運動論コード GKW に基づく輸送モデル DeKANIS の予測精度の改善について報告がなされた。QLKNN-15D は JET のプラズマ電流ランプアップをよく再現している。QLKNN-10D を用いた ITER ハイブリッド運転におけるプラズマ電流と電子サイクロトロン加熱領域が示された。

水素同位体効果に関する合同研究の提案については, ITER の High priority issue との関連, 既に行われている同位体効果に関する合同研究との相違点, 他のトピカルグループを跨いだ同位体効果に関するワーキンググループとの活動の観点から, 研究の範囲について議論がなされた。

ITPA 活動をまとめた Nuclear Fusion 誌の特別号は, ITER Physics Basis の代替案として, 昨年末に ITPA 調整委員会で提案され, ITER 以外の核融合研究の課題も含めた約十年に渡る ITPA 活動を, 記述的にまとめる特別号案である。2021年4月末に, 各トピカルグループが特別号の執筆に参加するか否か, またその内容について議論する会合が開かれるため, 輸送と閉じ込めトピカルグループの意見をまとめた。

2. 「MHD 安定性」

第37回となる本会合には, 日本3名, 欧州37名, 米国32名, 中国18名, ロシア8名, 韓国5名, インド1名, ITER機構2名が参加し, これまでで最も多かった。開催時間は, 時差の関係から日本時間で21~0時であった。今回から, 議長が諫山氏(QST), 副議長が Bandyopadhyay 氏(インド)となった。ITER機構側副議長はこれまで通り Gribov 氏である。今回は重点的に議論するトピックスとして, 「Disruption Avoidance and Prediction」, 「SPI Physics Validation」, 「Runaway Electron Avoidance and Mitigation」, 「Disruption Consequences」を設定し議論が行われた (SPI: Shattered Pellet Injection)。

SPI Physics Validation のセッションにおいては, 多くの装置から実験の結果や予定について発表があった。JET からは, 1系統の SPI 装置を用いた実験結果として以下のことが報告された: (1) Ne の割合の増加とともに電流クエンチ時間が短くなる (すなわち電流クエンチ時間の制御が可能), (2) ペレットの速度や破片サイズ分布は電流クエンチ時間に影響を与える, (3) トロイダルモード数 n が1の外部磁場摂動を与えた場合, 磁気島の O 点に入射するようにした場合に放射損失のトロイダル非対称性が最も大きくなる (値としては1.7) が, 電流クエンチ時間としては大差ない。DIII-D からは, (1) ペレット入射後に磁場揺動強度が増大してある値に到達すると熱クエンチが発生する, (2) このときの磁場揺動強度は, ロックモードの発生に関するスケールリングで予想される値と同程度であるとの報告があった。J-TEXT からは, トロイダ

ル方向に135度離れた2系統のSPI装置を用いた実験結果として、1系統入射では放射損失のトロイダル非対称性が2であったのが2系統入射では1.3まで下がったことが報告された。KSTARからは、トロイダル方向に180度離れた2系統のSPI装置を用いた実験結果として、2系統の入射時刻のずれが少ないほど電流クエンチ時間が短くなるとの報告があった。また、入射されるペレットの形状等を確認するためにSPI装置の出口付近に高速可視カメラが導入される予定との報告があった。HL-2Aからは、2系統目のSPI装置が導入され(既存装置とはトロイダル方向に180度離れた位置に設置)、2021年5月から実験が行われるとの説明があった。また、ASDEX-Upgradeからは、SPI装置の導入及び計測装置の増強が進行中であり、2021年7月に実験が予定されているとの説明があった。SPIのモデリングに関して、JOEUK, M3D-C1, NIMRODなどの3次元コードを用いたシミュレーションが行われていることも説明された。

逃走電子が消滅する際の磁場揺動成長速度と密度との関係がJETとDIII-Dにおいて調べられ、低密度ほど成長速度が大きいことが示された。以前、DIII-Dにおいて、数100kHz～数MHz帯の揺動の有無によりそれぞれ逃走電子が消滅及び維持されることが報告された。今回、JETにおいても同様の現象が観測されたことが報告された。

ディスラプション回避に関連して、電子密度-Hファクタ空間でプラズマの健全性を実時間で評価して制御した結果がTCVから報告された。電子密度及びHファクタに閾値を設定し(高電子密度かつ低Hファクタになるほどディスラプションが発生しやすい)、閾値に近づくと、プラズマの状態に応じて加熱パワーの増大やガス注入量の減少を優先度順に行ってディスラプションが回避できたことが示された。

(原稿受付日：2021年5月10日)

■会議報告

第23回若手科学者によるプラズマ研究会

(量子科学技術研究開発機構)

成田絵美, 隅田脩平, 宇藤裕康

1. 概要

2021年3月16日～17日に第23回「若手科学者によるプラズマ研究会」(量子科学技術研究開発機構・核融合エネルギー部門・先進プラズマ研究部主催)を開催した。本研究会は、将来の核融合研究を担う若手研究者が各々の研究を紹介し合い、将来を見据えた分野横断的なネットワークを広げる場を提供することを目的とし、毎年異なる主題で行われている。前年度は新型コロナウイルス感染症に関する状況を鑑みて延期という対応を取ったが、本年度は延期していた第23回の研究会をオンラインで開催した。

今回は「核融合炉を構成する多様な要素における研究の集結 - ONE TEAM 原型炉に向けて -」を研究会の主題とした。核融合炉を構成する各要素において、これまでに多くの研究成果や技術革新が蓄積されてきた。核融合炉の実現に向けて、これらの実績を統合し、核融合炉という一つのシステムとして矛盾なく実現可能であることを示すことが重要な課題である。次期装置において研究の主力となる若手研究者が各研究領域における現状や課題を共有し、研究領域の垣根を超えてこの課題に取り組む一助となることをめざして研究会を企画した。参加者は申し込みベースで36名であり、7件の招待講演と20件の一般講演が行われた。これまで現地開催では、一般講演者はポスター発表も行い、議論が深められていたが、今回はポスターセッションに代わり質疑用のウェブ会議室を発表者ごとに設け、口頭発表の質疑時間では収まらない議論を少人数で自由に行える場とした。また、JT-60SAバーチャル見学ツアーではJT-60SA本体室や制御室の映像を見ながら解説及び質疑が行われた。

2. 講演内容

招待講演では、若手研究者の活躍の場となることが期待されるJT-60SA, ITER, 原型炉の計画や課題が井手俊介氏及び坂本宜照氏(量研)から紹介されたほか、これらの装置に向けた研究が講じられた。核融合炉の燃料であるトリチウムの自己供給サイクルの確立に不可欠なブランケット構造材料表面の機能性被覆の研究開発について近田拓未氏(静岡大)から示された。放射線耐性等の被覆に求められる機能のほか、被覆中のトリチウム透過機構についての最新の知見や核融合炉への適用に耐えうる設計が紹介された。星野一生氏(慶應大)からは、ダイバータにかかる熱・粒子負荷の予測とその低減手法の検討を行うための統合ダイバータシミュレーションコードの概要説明に加え、近年の開発状況や、JT-60SAと原型炉を対象とした解析結果が示された。山中顕次郎氏(国立情報学研究所)からは、ITERでの実験に日本から遠隔参加するために必要な長距離高速データ転送技術の研究開発について講じられた。想定されるデータ生成量や求められる転送速度に加え、要求を満たすための新世代ファイル転送手法やそれを用いた国際転送実験が紹介された。以上の講演に加えて、本研究会では初の試みとして、企業からの招待講演が2件行われた。藤原英弘氏(三菱重工業)からはITERのトロイダル磁場コイル製作と原型炉に向けた課題について、富樫央氏(日立製作所)からは国内外の様々な規模の実験装置における機器製作について紹介された。製作に携わった講演者から具体的な製作方法や課題克服等の話題が提供され、聴衆にとって大きな刺激となった。

一般講演でも、JT-60SA, ITER, 原型炉に向けた研究発表が行われ、第一壁タングステン接合材の力学特性評価や原型炉で想定される高パワーの電子サイクロトロン波による電流駆動効率の解析、大型装置における乱流揺動計測に向けた位相コントラストイメージング手法の開