

■ ITPA(国際トカマク物理活動)会合報告(78)

分野：「高エネルギー粒子物理」¹，「統合運転シナリオ」²，「計測」³，「スクレイブオフ層とダイバータ物理」⁴，「周辺ペDESTAL物理」⁵

開催日：2021年5月17日～21日^{1,2}，
5月31日～6月3日³，6月28日～7月9日⁴，
7月12日～16日⁵

場所：リモート会議

担当委員：Andreas Bierwage(量研)¹，村上定義(京大)¹，
永岡賢一(核融合研)¹，長壁正樹(核融合研)¹，篠原孝司
(東大)¹，藤堂泰(核融合研)¹，山本聡(量研)¹，林伸彦(量
研)²，鈴木隆博(量研)²，若月琢馬(量研)²，長崎百伸(京
大)²，花田和明(九大)²，藤田隆明(名大)²，横山雅之(核
融合研)²，秋山毅志(GA)³，石川正男(量研)³，磯部光孝
(核融合研)³，ピーターソン・バイロン(核融合研)³，江尻
晶(東大)³，谷塚英一(量研)³，佐野竜一(量研)³，芦川直子
(核融合研)⁴，上田良夫(阪大)⁴，大野哲靖(名大)⁴，坂本瑞
樹(筑波大)⁴，仲野友英(量研)⁴，福本正勝(量研)⁴，増崎貴
(核融合研)⁴，相羽信行(量研)⁵，浦野創(量研)⁵，神谷健
作(量研)⁵，大山直幸(量研)⁵，鈴木康浩(核融合研)⁵，森
崎友宏(核融合研)⁵

(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
高エネルギー 粒子物理	2021年11月2日-5日	リモート会議
統合運転シナ リオ	2021年11月15日-19日	リモート会議
計測	2021年10月25日-28日	リモート会議 及び サン・ポール・ レ・デュランス (フランス)
スクレイブオ フ層とダイ バータ物理	未定	未定
周辺ペDESTAL 物理	未定	未定

1. 「高エネルギー粒子物理」

前回同様リモート会議で実施され，第25回となる本会
合には最大80名(日本8名)の参加者があった。時差を
考慮し，日本時間午後10時から翌日午後1時までの時間
帯で5日間にわたり実施された。今回は，ITERの進捗状
況，合同実験，その他の個別実験・解析結果報告と共に，
ITERリサーチプランに基づいた新規合同実験・モデリン
グ並びにNuclear Fusion(NF)誌特別号への投稿に関し
て議論が行われた。

はじめに，ITER機構のS. Pinches氏よりITER組立の進
捗状況，及びIMAS(Integrated Modeling and Analysis Suite)
の一部である加熱・電流駆動モジュール並びにそれら
を活用した計測機器開発の進展について紹介があった。加

えて，本トピカルグループ(TG)に対して，ITERリサー
チプランに基づき最重要な課題に応じるための新規合同
実験・モデリングの提案があった。合同実験に関する報
告は次の通りである。周辺磁場摂動に起因する高速イ
オン損失と炉壁熱負荷を取扱うEP-6では，磁場摂動(MP)
が高速イオン輸送に与える影響に関して，ASCOTコード
を用いた解析結果が紹介されたが，現状で実験結果を説
明できていない。また，MEGAコードによる解析で，高
速イオンが周辺局在化モード(ELM)と共鳴すると共に
ELMの特性が高速イオンエネルギーに依存することが紹
介された。ITERに向けた中性粒子ビーム電流駆動
(NBCD)の検証を目的としたEP-8では，DIII-Dで新た
に導入された非磁気軸加熱中性粒子ビーム入射(NBI)の
ビーム軸をトロイダル・垂直方向に可変した際のNBCD
に関する実験と計算の比較結果が紹介された。また，高
速イオン励起MHD不安定性のみならず，新古典デアリ
ングモードのNBCDへの影響について紹介があった。イ
オンサイクロトロン放射(ICE)の高速イオン計測への適
性を評価するEP-9では，個別の報告も含めASDEX
Upgrade(AUG)，DIII-D，NSTX(-U)，そしてLHDでの
ICE観測結果が報告された。AUGではNBIの打ち分けや
磁場強度などのパラメータ挿引によりICE発生やその特
性のパラメータ依存性が詳しく調べられた。ITERでのイ
オンサイクロトロン周波数帯(ICRF)用高周波プローブ
を用いたICE計測の可能性並びにデータ収集・解析シス
テムの案が紹介された。高安全係数(q)定常プラズマに
おける熱化・高速イオン輸送を調べるEP-10(IOS3.3と
合同)では，臨界勾配輸送モデルを考慮した輸送解析コ
ードTGLF-EP+ALPHAにより，高速イオンのみならず熱化
イオン輸送のより良い予測を行えるとする紹介があった。
複数計測結果を用いて高エネルギーイオン速度分布の再
構成を試みるEP-11では，ピッチ角，エネルギー，位置
の関数である高速イオン軌道の可視化に関して，中性子
計測結果を用いる際の重み関数の評価について紹介が
あった。加えて，減速分布に基づく基底関数，Wendelstein
7-XのNBIプラズマに適用した初期結果などが紹介され
た。アルヴェン固有モード(AE)制御法の開発とそれら
のITERへの適用を取り扱うEP-12では，加熱・外部磁場
によるこれまでの安定化実験・解析結果についてのレ
ビューがあった。AUG，KSTARそしてLHDでは電子サイ
クロトロン加熱/電流駆動(ECH/ECCD)によるAE制御
法の開発が精力的に進められておりそれらの結果が紹介
された。ITERのための先進ICRF加熱を取り扱うEP-13
では，3種イオンを用いた実験・解析が進められている。
提案されているシナリオは ${}^4\text{He}-{}^3\text{He}-\text{H}$ と ${}^9\text{Be}/{}^{22}\text{Ne}-{}^4\text{He}-\text{H}$
の2種であり，JET/AUGでの実験結果並びに予定が紹介
された。

個別の報告では，DIII-D/JT-60Uで観測された非磁気
軸魚骨振動(OFM)，または高エネルギー粒子駆動壁モ
ードEWM)のMEGAコードによる解析結果が紹介され，
共鳴粒子が特定されると共に，径方向外側に移動する共
鳴粒子により高速な周波数挿引が起こされていることが
紹介された。核燃焼で生ずる灰を炉心から効率的に排気

する方法として AE を活用することに関して、粒子共鳴のエネルギー依存性が調べられたが、依存性が弱く特定のエネルギーを有する粒子のみを排出するのが難しいとの紹介があった。

最終日には新規合同実験、モデリングの担当者が紹介され、それぞれから簡単に内容紹介と議論が行われた。特に MeV クラスの中性粒子シャインスルーの評価は、高エネルギー NBI を有する JT-60U/SA や LHD でのみ可能な合同実験であり、両装置からの貢献が期待されている。ITPA 各 TG メンバーで執筆する NF 誌特別号に関して、執筆・投稿プロセス等のスケジュール紹介と各セッション担当からの現状報告があった。なお、この特別号は前回の ITER Physics Basis (2007 年) 後の研究成果を中心に、より幅広く核燃焼プラズマに対する各種プラズマ物理の最新を紹介するものとなる。

2. 「統合運転シナリオ」

今回は IOS TG の第 26 回目の会合で、COVID-19 対策のためリモートの web 会議で開催された。時差のため場所によっては開催時間が深夜になったが (日本は 23 時 -2 時)、従来の現地開催と同程度の 20 名以上が参加した。

IOS TG は、ITER の運転シナリオに関する課題について議論し、参加極における関連研究を通じて最適な運転シナリオと必要な制御手法を提案することが主な役割である。IOS TG から提案している ITER 運転シナリオの開発に関する共同実験 (Joint Experiment (JE)) や解析・モデリング共同活動 (Joint Activity (JA)) の進捗の報告と議論、新たな共同取り組み課題の提案、運転シナリオ制御に関する発表と議論などが行われた。また今回は、定常運転を目指した Advanced Tokamak (AT) シナリオに焦点を絞ったセッションが設けられた。

ITER 機構より、サイトの進展状況やディスラプション回避システム等の検討進展などについての報告があった後、IOS TG に関連した各極装置での実験に関する報告がなされた。EAST では、下部ダイバータのタングステン化アップグレードが終了し、今後の実験に供されるとのコメントがあった。AUG では、AT シナリオに適した安全係数 (q) 分布での実験を行うために、望ましい q 分布を、不安定性を避けながら電子サイクロトロン電流駆動やオーミック電流駆動の組み合わせで生成すること、さらにそれを数秒間維持する試みに関する報告がなされた。MAST Upgrade からは、現在第一期の物理キャンペーンが展開中で、プラズマ電流 400 kA の 1 秒間維持を達成し、今後、700 kA を従来型及び Super-X ダイバータ配位で 1 秒間維持することを目指しているとの報告があった。

各 JE の進捗状況の報告があり、今後の計画について議論された。ITER におけるプラズマの termination (立ち下げ) に関する JE では、実質的な活動がほとんどない状態であると報告され、改めて関係者に連絡して今後の進め方について議論することになった。ハイブリッド運転に関する JE では、これまでの結果を受けて閉じ込め

の改善をもたらす要因を明確にすることを目指した今後の計画についての議論が行われた。関係者で議論が継続される。

各 JA の進捗状況の報告があり、今後の計画について議論された。燃料ペレット入射の JA では、ペレットモデルを検証するために ITER の統合モデリング・解析ソフトウェア IMAS に基づくデータベースへの JET のデータの拡充、そのデータを用いた 2 つのモデル (HPI2, SMART) の検証状況、ITER や原型炉の予測結果が報告された。今後 AUG のデータも追加され継続される。プラズマ着火モデリングの JA では、DIII-D, MAST, STEP の各装置でのモデリング状況、3 つのコード (BKD0, DYON, SCENPLINT) 間比較により渦電流と誘導電場の時間発展が重要であることが示された。モデル改良を行って多装置で検証する新たな JA として活動を行うことが提案された。

運転シナリオ制御に関する以下の発表があった。NB 加熱・電流駆動を高速に評価する RABBIT コードについての発表では、高速イオンの案内中心軌道計算を NB ライン上の限られた点のみで行い、その結果を内挿する等の工夫により高速化を実現し、計算結果は (荷電交換損失の影響が小さい等の条件の下では) NUBEAM の結果とよく一致する。AUG の実時間制御システムに組み込まれ、イオン加熱と NB 駆動電流のフィードバック制御に使用された結果が示された。DIII-D の Actuator Management システムについての発表では、異なる制御対象を持つ複数のコントローラが、有限のアクチュエータに対して各々の制御要求を行う状況における制御結果を最適化する Actuator Sharing に関する新たな仕組みが示された。コントローラからの要求とのずれに対応した「スラック変数 (ベクトル)」を定義し、スラック変数及びアクチュエータの稼働量の重みづけ最小化問題を実時間で解くことで、干渉を避けつつ最適なアクチュエータ割り当てを行うことができている。ITER の制御システム (PCS) の開発状況の報告では、燃焼前実験 PFPO-1 で使用される PCS のアーキテクチャ、及び各コンポーネントについて紹介され、順調に開発されていることが報告された。IOS TG からは、PCS のコミッショニングのためのシナリオ開発、プラズマや加熱機器等のモデル開発、ディスラプション予知等の付加機能の開発が貢献可能なエリアとして紹介された。

AT シナリオのセッションでは、ITER でのシナリオ開発の検討のために、EAST, KSTAR, DIII-D, AUG/JET から実験報告があった。AT には、負・正磁気シアの ITB, high β_p , ハイブリッド放電, high l_i などの種類がある。多くのシナリオでは q 分布が強く関連しており、ブートストラップ電流, MHD 安定性, 輸送, 電流駆動などの最適化が必要となる。特に、高ブートストラップ電流が AT シナリオでは最も効率的である。EAST では、平坦な q 分布をもつ電子温度 ITB において、 $H_{98,y2} > 1$ で $f_{BS} \sim 50\%$ のプラズマを 60 秒以上定常維持した。タングステンの蓄積は炉心中心への ECH の重畳によって避けられている。高 β_p 放電では放射損失のフィードバック制御

で $H_{98, y2} > 1.2$ の良い閉じ込めを得ている。KSTARでは、 $\beta_N \sim 3$ 、 $V_{loop} < 0$ で約5秒の高 I_p シナリオ放電、プラズマ電流のオーバーシュート、ダブルヌル配位、25秒の長パルス維持放電の実験に関する報告があった。長時間放電では、 β_N が時間的に劣化することが観測されており、その原因を調べている。DIII-Dからは、今後の方向性として、ECH/ECCDの増強、ヘリコン波加熱の導入、トロイダルコイル磁場の向上などが説明された。AUGとJETのレビューもあり、今後もシナリオの開発を行っていくことが説明された。

ITPA活動をまとめたNF誌の特別号について、メンバーの多くから参加の意思が示されたことを受けてIOS TGとしての参加を決定したことが報告され、論文の構成、取りまとめや執筆の担当者、2022年7月投稿を目標とするスケジュールの案が示された。今後各節の主執筆者を決定し執筆活動が開始される見込みである。

次回合では、各JEとJAの進捗状況が報告されるとともに、プラズマ制御と定常運転シナリオに焦点を絞ったセッションが設けられる予定である。

3. 「計測」

第39回計測TG会合が、韓国主催で、前回に引き続きリモート会議にて開催された。本会合には、世界各国から約80名が参加した。主な内容を以下に記す。

3.1 ITERの計測における最重要課題への取り組み状況

本会合では、計測TGの4つの最重要課題のうち、主に「プラズマ対向第一ミラーの寿命の最適化」及び「プラズマ制御システム」に関する進捗報告が行われた。「プラズマ対向第一ミラーの寿命の最適化」では、特に光学ミラーのクリーニングに関する研究が精力的に進められており、スイスのバーゼル大学では、ITERへの適用を想定した強磁場（3.5 T）下での高周波放電によるミラークリーニングの実験結果や、水平ポートに設置する光学ミラーのためのミラークリーニング機構のプロトタイプ製作に関する進捗が報告された。また、「プラズマ制御システム」に関しては、JETを用いた実時間制御によるデタッチメント制御や密度分布制御に関する取り組みの様子が報告された。これらの研究には、同じく「プラズマ制御システム」の開発を進めているKSTARの研究チームの参加や他の装置との共同実験が呼びかけられており、今後発展的な取り組みが期待される。今回の会合では、新たに「トモグラフィー手法の開発」及び「平衡再構成手法の最適化及び検証」の2つの課題の提案があり、どちらも最重要課題として採用された。このうち「トモグラフィー手法の開発」については、本年5月に行われたトモグラフィー手法に関するワークショップの報告に加え、計測と計測対象分布がガウシアンに従うとの仮定を用いた新たなトモグラフィー手法の報告も数件行われ、精力的に取り組まれている様子が感じられた。

3.2 ITPA/IEA共同実験に関する議論

以下に示す共同実験の実施状況について議論した。

ガンマ線制動放射分光による逃走電子のエネルギー分布計測に対する共同実験では、前回会合に続き、他国間の研究チームが共同で進める実験計画の進捗が報告された。逃走電子の物理現象の理解には適切なモデル構築が必要であり、そのための情報として逃走電子の分布関数を評価するために、MeV級の制動放射スペクトルの計測を各装置で進めていく予定である。本共同実験には、DIII-D、JET、AUG、EAST及びCOMPASSの各トカマク装置が利用される予定である。

3.3 各極の活動状況

会合初日および2日目に開催国である韓国とITER機構のプログレス会合が開催された。韓国からは、ITER真空紫外分光用ミラーのR&Dに関する報告や、KSTARに設置されている計測装置の紹介が行われた。また、KSTARに設置された破砕ペレット入射(SPI)を用いた実験の報告や、SPIが使用された放電でのプラズマ放射計測や干渉計の計測結果の報告など、ディスラプションの緩和に対する知見が提供された。ITER機構からは前回会合からの進捗が報告され、クライオスタットの電気フィードスルーに関する詳細設計の進捗や、ダスト収集ヘッドのテスト結果が報告された。また、放射線環境下でのカメラ動作や最重要課題の一つでもあるミラークリーニングに関する複数のワークショップで議論された内容に関する報告が行われた。中国からは、ITERのダイバータに設置するラングミュアプローブの進捗報告が行われ、製作したプロトタイプに対する耐熱試験や、溶接部に対するX線トモグラフィー診断等を用いた非破壊検査を行った結果が報告された。この加熱試験においては、プローブが1000度以上の熱サイクルに対しても機器の健全性が維持された結果が報告されている。インドからは、調達を担当するX線結晶分光、電子サイクロトロン放射計測および荷電交換分光計測について、設計の進捗や校正手法の開発等の活動の様子が報告された。ロシアからは、垂直中性子カメラのダイヤモンド検出器を用いた高温環境下での動作試験の結果や、超伝導コイルを用いての高磁場環境下でのプラズマ対向ミラーの寿命試験を行うためのテストスタンドの開発など、多くの報告がなされた。アメリカからは、モーショナルシュタルク効果(MSE)計測用のプラズマ対向ミラーの熱による変形解析結果が報告され、熱放射による冷却によってミラーの熱変形は許容範囲内に収まることが示された。また、X線領域での新しい分光計測器としてX線マイクロ熱量計測が紹介され、トカマク装置MASTでのテスト計画等が示された。

3.4 日本からの報告

石川氏(量研)からは、日本が調達するITER計測装置の開発の進展について以下の報告があった。マイクロフィッションチェンバーでは、真空容器内機器の実機製作が進んでおり、このうちMIケーブルの端部加工の完了が報告された。ポロイダル偏光計では、開発を進める赤外レーザーのITERの放電時間に相当する時間の発振

安定性（～3.6%）がITERの要求値（<5%）を満足したとの報告が行われた。周辺トムソン散乱計測装置では、光学ミラーを保護するシャッターの構造健全性評価に関する進捗が報告された。ダイバータ赤外サーモグラフィでは、計測精度に影響するタングステン材の放射率の温度依存性評価の進捗及びダイバータ不純物モニタからは、光学ミラーとして使用を想定しているロジウムコーティングミラーに対する、ITER運転中に繰り返し行われるベーキングを想定した熱サイクル試験の結果が報告された。

4. 「スクレイプオフ層とダイバータ物理」

第30回目のグループ会合はオンラインで開催された。今回のグループ会合から量研の仲野がチェアを務めている。総講演数は51件で、そのうち日本からの報告は6件であった。以下にセッションごとの概要をまとめる。

金属製プラズマ対向壁へのヘリウム（He）放電の影響：He放電後のタングステン（W）繊維状微細構造（Fuzz）の形成について、W対向壁装置であるWEST、EAST、AUGから報告があった。WESTとEASTでは、Fuzzが形成される実験条件であったが、形成が確認されなかった。一方AUGでは、WとMoが混合したFuzzが形成された。直線型装置PISCES-Aでは、Mo被覆したW試料へHeプラズマを照射すると、WFuzz形成よりも低温で、WとMoが混合したFuzzが形成されている。これらの結果から、純WFuzzの形成を調べるには、MoなどWよりも低温でFuzzを形成する材料の表面堆積を避けることが必要である。増崎から、LHDにおけるWダイバータ試験体へのHeプラズマ照射実験結果が紹介された。表面温度が高い場合、初期のFuzz構造が観察されている。

ダイバータ機器の寿命：WESTでは2018年の実験で亀裂が生じたダイバータ板を2019年の実験でも使用し、亀裂に大きな進展がないことを確認した。WEST条件下のシミュレーションでは、亀裂は主にディスラプションの過渡的熱負荷で形成されるが、再結晶化後は安定放電時の熱負荷でも亀裂が生じる可能性が示唆された。

EC波による放電洗浄：ITERのPFPO-1では、ディスラプション緩和システム（DMS）作動後の壁調整やトリチウム除去に電子サイクロトロン共鳴波放電洗浄（ECWC）を使用する計画であり、適切なECの入射パワーや入射時間を評価する必要があると報告された。仲野から、KSTARではヘリウムガスによるECWCの効率を調べ、高いHe圧力に対して高パワーのECを長時間入射するのが効率的であることが報告された。

デタッチの物理と粒子供給及びデタッチの制御：江角から、ミラー装置GAMMA10/PDXに設置したダイバータ模擬実験装置内のプラズマに窒素を導入してデタッチメントを誘起すると、水素分子活性化再結合（H-MAR）から窒素分子活性化再結合（N-MAR）への反応過程の変化が示唆されることが報告された。AUGでは、ダイバータトムソン散乱計測を新設し、LモードとHモードの両方ともデタッチメントと共にSOLにおける磁力線に沿っ

たプラズマ圧力が低下するとの初期結果を得た。KSTARでは、SOLPS-ITERを用いた計算により、デタッチメント遷移の内外ダイバータ非対称が再現された。小林から、LHDにおいてボロメータ信号でEC入射をフィードバック制御し、デタッチメント状態を安定に維持したことが報告された。

デタッチメントと第二スクレイプオフ層（Far-SOL）形成の関係：Lモードダイバータでの衝突度の経験的指標（ Λ_{div} ）がHモードでも同程度に達した場合、AUGではガスパフ入射によりFar-SOLが形成されるが、窒素入射ではFar-SOLが形成されないことが報告された。JETではダイバータ板形状の影響を調べるため、ストライク点を水平及び垂直ターゲットに置いたが、同じ Λ_{div} でFar-SOLが形成された。DIII-Dの閉型のSASダイバータ配位では、主プラズマ周辺部の中性粒子密度が下がり、Far-SOLの形成は抑制された。

SPARC装置のプラズマ対向壁の設計とダイバータ研究：米国のコモンウェルス・フュージョン・システムズ社では、高温超伝導コイルを搭載するトカマク型核融合装置SPARC（トロイダル磁場12.2 T、大半径1.85 m、小半径0.57 m、外部加熱パワー25 MW、DT運転）の設計を進めている。SPARCは2025年に運転開始予定であり、同社の発電炉ARCの設計につなげる計画である。ITPAの国際装置間比較実験の枠組みによりITERへの貢献の可能性が議論された。

ダイバータ板のトロイダルタイルエッジへのELM熱負荷：AUGでは、外側ターゲットに挿入したトロイダルギャップ試料内面のプラチナ被膜が損耗したことから、ELMで生じた高温のイオンがラーマ運動によりトロイダルギャップに入射したことが示唆された。WESTでは、タングステンモノブロックのトロイダルエッジに融点を超える熱負荷を印加したが、熔融による損耗は小さく、コアプラズマの電子温度や電子密度に変化はなかった。

JT-60SAの現状報告：井手から、JT-60SAではコミッションを進め定格であるトロイダル磁場2.25 Tを達成し、さらにEC波の入射（82GHzの基本波）によってプラズマの生成にも成功したことが報告された。その後、平衡コイルの接続部の損傷により、コミッションを一時中断した。現在、再開に向けて改修を進めている。

三次元磁場構造のダイバータへの影響とプラズマ壁相互作用：ITERと同様に上中下の3列に共鳴磁場摂動（RMP）コイルを配したKSTARから、ELMの抑制可能なRMPコイルの運転領域および熱負荷分布について詳細なモデル計算結果が報告された。また、実験では2列よりも3列のRMPコイルの方がELM熱負荷を低減できること、さらに窒素入射することでELM熱負荷を低減できることが報告された。

ELMによる熱負荷：AUGでは、ELMによって主プラズマから排出されたエネルギーの90%がダイバータに到達するが、アルゴンを入射するとその割合が20%まで低下することが初めて観測された。窒素を入射した場合に

はこのような効果は小さく、どのような衝突過程によって、ELMのエネルギーが散逸するののかについて議論された。伊庭野から、ITERで第一壁が大きな熱負荷を受けた際のベリリウム蒸気による蒸気遮蔽の効果について、PIXYコードを用いたシミュレーション結果が報告された。

TG間の協力：ITERではダイバータ・第一壁にレーザーを入射し、放出されたトリチウムなどを四重極質量分析装置で計測することが検討されている。この計測方法に対してTGからの貢献の可能性について議論された。また、MHD TGからは、ディスラプション発生時の計測について、第一壁・ダイバータへの熱負荷の観点から整備すべき計測器について助言を求められている。

UIPB (Update of ITER Physics Basis) /ITPA レビュー論文：昨年12月にITPA運営委員会から各TGに、最近10-15年の成果についてレビュー論文を執筆するよう要請があった。これに対して本TGでは、ITPA運営委員会から送付されたTerms of conditionsの内容を基に会合参加者が議論し、多数決をとり、会合参加者のほぼ満場一致により要請を請けることを決定した。章立て、著者候補などを検討し、シノプシスの準備を進めている。

5. 「周辺ペDESTAL物理」

第38回となる本会合には39名の参加者があり、ITERの最重要課題であるELMの物理と制御、HモードペDESTAL構造・ELM物理の理解、国際装置間比較実験等の現状報告に関して討議が行われた。

ペDESTAL構造・輸送に関するセッションでは、EASTから密度ペDESTAL幅のスケーリングについて反射計による精密測定を元に報告された。特に高い規格化衝突度領域にてEPEDモデルの予想を超える密度ペDESTAL幅の増加を観測している。また、燃料補給がペDESTAL構造に与える影響について、特に中性粒子の侵入長と密度ペDESTAL構造との相関について、DIII-D/C-Mod/JETの装置間比較研究の結果が報告された。

ペDESTALの安定性およびELM物理に関するセッションでは、JETから新たな小振幅ELM運転領域が報告された。この領域は、エネルギー閉じ込めが良い一方で不純物蓄積が少ない利点を有しており、ペレットと少量のガスによる粒子補給によってITERに近いプラズマ条件においても実現できる可能性が示された。また、熱輸送の改善はイオン勾配不安定性 (ITG) の安定化によって、不純物蓄積の低減は強いトロイダル回転によって粒子ピ

ンチが外向きになっていることがそれぞれ原因であるという解析結果が紹介された。

RMPに関するセッションでは、EASTからITERと同様のトロイダルモード数 $n=4$ のRMPを用いてELM抑制に成功した実験結果が報告された。ELM抑制に必要なコイル通電条件や安全係数および電子密度の範囲について、線形プラズマ応答計算コードMARS-Fの解析結果と実験結果が比較的良い一致をしていることが示された。また、非線形MHDコードJOEKEを用いたITERシナリオにおけるRMPによるELM抑制の検討状況について報告された。複数のプラズマ電流 (10 MA, 12.5 MA, 15 MA) の条件下でもRMPは大振幅ELMの安定化が可能であり定常時のダイバータ熱負荷は上限値 (10 MW/m²) 以下に抑えられたが、RMP稼働直後に過渡的に大きな熱負荷が発生しうることが示され、これを回避する方法の検討が重要であると報告された。

装置間比較実験に関するセッションでは、L-Hワーキンググループから水素同位体・多種イオンプラズマにおけるH-mode遷移閾値パワーに関する新たな知見が示された。DIII-Dからは電子加熱が優位な場合、軽水素プラズマでは遷移閾値パワーが重水素の場合の約3倍になりうるが運転条件の最適化によってこの閾値パワーの上昇率はある程度抑えられること、JETからはトリチウムにおける閾値パワーは重水素やヘリウムよりも明確に低いこと、さらにAUGからはRMPの印加によって閾値パワーは約50%上昇することがそれぞれ報告された。

ペレット入射によるELM制御に関するセッションでは、米国ORNLとの共同で開発されているAUGのペレット射出装置について報告があった。重水素ペレットにネオンをドーピングする技術開発について示され、ドーピングするネオン量を増加させると供給可能となる粒子数が下がる傾向にあることが紹介された。

本会合では最後に、ITPA調整委員会より2007年以降のTGにおける成果をNF誌にまとめることを要請されていることを受けて、周辺ペDESTAL TGとしては体系的なレビューを執筆する方向で議論が行われた。投稿に至るまでのマイルストーンや章構成、各章の代表執筆者等について提案がなされた。現在のところ、ITPA調整委員会の要請に基づき、2022年中に原稿の査読、改訂を完了することを目標に計画していることが示された。

(原稿受付日：2021年9月14日)