

■ITPA(国際トカマク物理活動)会合報告 (56)

分 野：「高エネルギー粒子物理」

開催日：2016年6月27日-6月30日

場 所：ITER機構 (仏)

担当委員：藤堂 泰 (核融合研)，長壁正樹 (核融合研)，永岡賢一 (核融合研)，篠原孝司 (量研機構)，Andreas Bierwage (量研機構)，村上定義 (京大)，山本聡 (京大)
(下線は当該グループの会合への出席者を示す)

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	2016年10月24-26日	京都 (日本)

本会合は第16回となり，参加者は約40名，44件の発表があった。

会議の初日にはITPA「計測」分野グループと共同でITERの損失アルファ計測に関するワークショップが開催された。高速イオン損失計測器 (FILD)，ファラデーカップ，赤外線撮像ボロメトリ，損失アルファ粒子のガンマ線モニタ，ダイバータドームでの損失高速イオン計測，電荷交換高速イオン計測等が議論された。ワークショップの冒頭で，日本のOFMCコードと欧州のASCOT，LOCUSTコードを用いたITERでの高速イオン損失に関するシミュレーション研究のまとめが報告された。異なる運転シナリオにおけるELM制御コイル (ECC) が高速イオン損失に及ぼす影響に焦点が当てられた。ECCの導入によりダイバータ領域での高速イオン損失が最も増加する。ビームイオンのECCによる損失は，その生成分布が周辺でピークしているためアルファ粒子よりも大きい。ダイバータドーム下の領域で損失する高速粒子も存在し，それらはエネルギーの高い捕捉粒子である。ITERでの共鳴磁場摂動に起因する損失アルファ粒子のFILD計測に関するASCOTコードによるシミュレーションから，損失粒子分布がピッチ角に依存して多数のピークを持つという興味深い結果が報告され，高速粒子と摂動磁場の共鳴が重要ではないかという指摘があった。一方で，DTプラズマにおけるFILDの耐放射線性および耐熱性は困難な課題であり，核分裂炉を使った中性子照射によるシンチレータ，レンズ，ミラーの性能劣化評価に関する報告も行われた。会議の最終日には損失アルファ粒子に関する各計測機器の特徴を総括した一覧表案が示され，これを含めてこのワークショップの議論をまとめた報告書を作成することとした。

ITPA「高エネルギー粒子物理」分野グループで取り組んでいる5つの共同実験について報告と議論が行われた。ELMとRMPなどの周辺磁場摂動に起因する高速イオン損失を扱うEP6では，AUG，DIII-D，KSTARの実験において高速イオン損失がRMPのポロイダルスペクトルに依存することが報告された。RMPに対するプラズマの応答を考慮したシミュレーションモデルの構築が

重要であると認識されている。ECH/ECCDによるアルヴェン固有モード (AE) の制御に関するEP7では，AUGでの実験結果が報告され，DIII-Dの結果と同様にECHがRSAEを抑制することが確認された。この効果は，バルクプラズマ圧力の上昇によって連続スペクトルの極大が消失し，RSAEが存在できなくなることが原因と理解されている。しかし，この説明はTAEにはあてはまらないので，ICRHイオンによって駆動されたTAEに対するECHの効果を調べる実験がAUGで新たに実施され，off-axis ECHの際にTAEがむしろ励起されやすくなることが報告された。次回会合でも議論を行い，EP7を終了するか，または新しい活動内容を定めて継続するか決めることにした。

NB電流駆動の検証を扱うEP8では，2016年度の計画としてNSTX-UとTCVで新たに実験を行い，DIII-DとNSTX-Uでは実験結果と比較してコードの検証を行う予定であることが報告された。イオンサイクロトロン放射 (ICE) の損失高速イオン診断への利用を評価するEP9に，AUG，DIII-D，JETに加えて，LHDも参加することになり実験結果が報告された。LHDでは垂直NBIに起因したICE，TAEと高エネルギー粒子駆動インターチェンジモードに伴うICE，低密度プラズマでのICEが観測されている。ICEの周波数と磁場強度の比例関係が確認されるとともに，TAEバーストに伴うICEと高速イオン損失が計測されている。高qの定常運転シナリオにおける高速イオンおよび熱イオンの輸送を扱うEP10では，共同実験の背景，実験計画，JETでの最近の実験結果が報告された。

理論解析とシミュレーションの分野では，低周波のAEであるBAE/BAEのジャイロ運動論的シミュレーション (TAEFLコード，GTCコード) による結果が報告された。また，DIII-Dにおいて観測されたAEに起因する高速イオン分布硬直性に関連して，高速イオン分布のビームパワー依存性がMEGAコードを用いて研究された。その結果，高速イオン分布の硬直性が確認され，その原因は複数のアルヴェン固有モードの共鳴の重なりであることが報告された。また，アルヴェン固有モードが定常的な時間発展となるのか周波数変調を伴った間欠的な発展となるのかは興味深い問題である。Berk，Breizmanらの理論研究は1次元の様なプラズマを対象としているので，これをトカマクプラズマに一般化した解析モデルを構築しNOVA-Kコードに実装したことが報告された。DIII-Dにおける実験結果を説明するためには，拡散衝突係数を古典値よりも大きく設定する必要がある。また，ICEの励起と飽和が計算できるシミュレーションモデルについて議論が行われた。

今回，開催場所がITER機構であったため，最終日にITERの建設状況を見学できた。次回は，「第26回IAEA核融合エネルギー会議」の直後の10月24-26日に京都大学にて開催される。

(原稿受付日：2016年7月12日)

■ITPA(国際トカマク物理活動)会合報告 (57)

分野：「計測」

開催日：2016年6月21日-24日

場所：バドカー原子核物理研究所（ロシア）

担当委員：秋山毅志（核融合研）、石川正男（量研機構）、磯部光孝（核融合研）、伊丹潔（量研機構）、江尻晶（東大）、河野康則（量研機構）、ピーターソン・バイロン（核融合研）（下線は当該グループの会合への出席者を示す）

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
計測	2016年11月7日-10日	ITER機構（フランス）

第30回計測トピカルグループ(TG)会合が開催された。また、本会合と並行して、ITER機構主催のポート統合調整チーム会合が開催された。両会合合わせて、約70名が参加した（内訳（含：遠隔参加）／日本：4名、韓国：2名、米国：2名、EU：5名、中国：6名、ロシア：約25名、インド：4名、ITER機構：4名）。主な議論の内容を以下に記す。

1. ITERの計測における最重要課題への取り組み状況

①プラズマ対向第一ミラーの寿命の評価

高周波放電を用いたミラークリーニングでは、ミラー表面粗さの増大とこれによる反射率の低下が懸念されている。本会合では、単結晶・多結晶モリブデンミラーについて、不純物（アルミニウム（ベリリウムを模擬）、タングステン）の堆積とクリーニングを繰り返す実験が、20サイクルまで実施されデータ解析中であることが報告された（従来は5サイクルまで）。また、単結晶ロジウムミラーの高周波放電による損耗特性評価試験が初めて実施され、反射率変化データが取得された。詳細については、SOFT2016にて発表される予定である。ミラー保護用シャッターのモックアップ試験の進展についても報告された。

②壁反射光の光学計測への影響

ITERの第一壁及びダイバータは、それぞれベリリウム及びタングステン等の金属製であり、高い光反射率（可視域で～50%）を有する。そのため、ダイバータプラズマからの強い発光がこれらの壁で反射し、光学測定を妨害する背景光として混入することが大きな問題となっていた。梶田氏（名大）より、可視・赤外域での分光・画像計測、トムソン散乱計測及び荷電交換再結合分光計測における壁反射光の影響評価結果及び緩和手法開発の概況並びにこれらを取りまとめた論文発表予定が報告され、可視・赤外域については最重要課題としての検討を成功裏に終了した。今後は、ITPA/IEA共同実験にて活動を展開する。また、最重要課題としては、加熱用・計測用マイクロ波の迷光に関する影響評価に注力することに合意した。

③損失アルファ粒子計測の検討

放射化プローブ法に関するITPA/IEA共同実験にてKSATRで取得した放射化サンプルがEUで解析され、高速プロトンの損失に関するデータが得られた。結果を取りまとめ、本年中の論文投稿を目指すこととなった。また、6月27日にITER機構で開催される損失アルファ粒子計測ワークショップ（ITER機構、計測TG及び高エネルギー粒子TGの共同開催）にて、本手法のITERへの適用可能性及

び役割を議論する予定とした。

④プラズマ制御システムに関する計測要求

実時間計測専門家ワーキンググループを中心として、ITERのプラズマ運転や機器保護に不可欠である計測データ（電子密度やNBシャインスルー検出信号等）について、既存装置における実時間プラズマ制御用計測信号の取扱い・検証実績を調査する作業を進めており、その進捗状況が報告された。7月末の報告書ドラフトの作成を目指し、参加者からの情報提供が要請された。

2. ITPA/IEA共同実験に関する議論

既出も含め、以下に示す8件の共同実験の実施状況について議論を行った：第一ミラーの環境試験、トムソン散乱とECE計測により計測した電子温度データの乖離、放射化プローブ法の環境試験、エックス線結晶イメージング法と荷電交換再結合分光法の比較（イオン温度、プラズマ回転計測）、壁反射光モデルのベンチマーク試験、マイクロ波ボロメータを用いたECH迷光パワー計測、新手法（スペクトル計測）による動的シュタルク分光計測（電流分布計測）の妥当性検証実験、真空窓におけるマイクロ波吸収の最小化。新規共同実験として、ITERラングミュアプローブのプロトタイプ環境試験について提案があり、12月に開催されるITPA調整委員会での採択に向け、実施内容の検討を進める方針とした。

3. 各極の活動状況

会合初日にロシアのプロGRESS会合が開催され、ロシアが調達するITER計測装置（ダイバータ中性子束モニター、H α 発光分布モニター、荷電交換再結合分光計測、ダイバータトムソン散乱計測等）の開発では、それぞれ特にプロトタイプの製作・試験が大きく進展していることを認識した。ホストを務めたバドカー原子核物理研究所（BINP）は、大規模なワークショップを有し、機器の設計から製作までを一貫して実施可能であり、高エネルギー加速器用機器やプラズマ計測用中性粒子ビーム入射装置の開発実績を多数有している。BINPは、ITER関連ではロシアが調達する計測ポート統合機器の開発を担当している。EUでは、W7-Xにて新方式の可視TVカメラ計測装置（EDICAM）が順調に運転を開始したことが報告され、会合参加者より祝意が示された。米国では、ITERトロイダル干渉計・偏光計におけるレーザー光軸の自動追尾試験に成功したことが報告された。

4. 日本からの報告・議論

西谷氏（核融合研）から、LHDの重水素実験に向けた中性子計測装置群の開発状況及び電子機器の放射線照射試験結果が報告された。西浦氏（東大）より、超高速流プラズマ実験装置RT-1における研究の現状及び放射線照射効果専門家ワーキンググループの活動状況が報告された（西浦氏は、同ワーキンググループの副議長）。河野氏（量研機構）より、日本が調達するITER計測装置の開発状況について報告があった。また、計測TGのアクションアイテムのうち、「天然・CVDダイヤモンド検出器の寿命評価（担当：金子氏（北大）」及び「液体シンチレータアレイのITER中性子計測への適用性検討（担当：有川氏（阪大）」の検討状況が報告された。

（原稿受付日：2016年7月29日）