



■ITPA (国際トカマク物理活動) 会合報告(33)

- 分野：「スクレイプオフ層とダイバータ物理」¹, 「計測」²
- 開催日：2011年5月16日-19日¹, 2011年5月23日-26日²
- 場所：ヘルシンキ (フィンランド)¹, ノールトウェイク (オランダ)²
- 担当委員：
 - 朝倉伸幸(原子力機構)¹, 芦川直子(核融合研)¹,
 - 上田良夫(阪大)¹, 大野哲靖(名大)¹, 田辺哲朗(九大)¹,
 - 仲野友英(原子力機構)¹, 増崎貴(核融合研)¹, 伊丹潔(原子力機構)²,
 - 河野康則(原子力機構)², 川端一男(核融合研)²,
 - 草間義紀(原子力機構)², 笹尾真実子(東北大)²,
 - ピーターソン・バイロン(核融合研)², 間瀬淳(九大)²
 (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
スクレイプオフ層とダイバータ物理	2012年1月	ドイツ
計測	2011年10月17日-20日	合肥 (中国)

1. 「スクレイプオフ層とダイバータ物理」

第14回目となる本会合には、欧州、カナダ、韓国、中国、日本、米国、ロシアおよびITER機構から合計64名(日本から5名)の参加者があった。前回までと同様に、ITERの建設および運転に緊急に解決が必要な課題をリーダーの主導によって解決法を検討する形式の会合であった。

MDシミュレーションによるタングステン中への水素同位体およびヘリウム入射時の影響、タングステン+炭素堆積層への水素捕獲・再放出と材料中への拡散、およびヘリウムバブルの変化について報告があった。MDシミュレーションでは計算に対応する実時間がnsからmsと短く、実空間も小さいため、プラズマ・壁相互作用研究に応用するにはより長い時間および広い空間を扱うことができる計算手法との結合が必要であると強調された。

フラッシュランプによるベリリウムからのトリチウム除去、レーザーによるタングステン上の重水素除去、酸素ベーキングによる重水素除去、および中性子照射されたタングステンの重水素保持量評価に関して報告があった。TEXTOR(独)では、レーザーをスポットサイズ3-10mm²でタングステン表面へ入射した場合、水素放出は20nsという短時間で観測された。

球体炭素粒子の入射実験の装置間比較実験(DSOL-21)に基づく結果がDIII-D(米), LHD(日), NSTX(米)およびTEXTORから報告された。AUG(独)からは全タングステン壁化の後に採取されたダストの組成・形状比較が報告さ

れた。QSPA装置(露)からはプラズマ銃照射によってタングステンから発生したダストの粒径分布が報告された。

ダイバータへの熱流束幅のスケーリングの見直しを目的に、実験データベースとモデルの比較が行われており、現状が報告された。ドリフトによる磁力線を横切る輸送を考慮したモデル(Goldstonモデル)では、低ガス入射流量のHモードプラズマでのELM間の熱流束幅の実験データを比較的良く説明できることが報告された。他に、ToreSupra(仏)から、プラズマ立ち上げ時のリミタへの熱流束幅、およびDIII-DからELM時のダイバータへの熱流束が報告された。AUGからは擾乱磁場によりELMを抑制することができたこと、およびDIII-DおよびJET(欧)とは異なり周辺密度の減少は見られなかったことが報告された。

AUG, DIII-DおよびJETの非接触プラズマに対するUEDGEコードによる再現が試みられた。実験で観測された放射損失パワーを再現するにはダイバータからの炭素の発生率を2倍にする必要がある一方で、分光測定によるCIIスペクトル線強度をコードでは過大評価してしまう、などの矛盾点が述べられた。JETのプラズマに対してSOLPS4.0で計算グリッドを第一壁まで拡張した計算結果が報告された。また、SOL中の磁力線に沿った高温部から低温部に流れるプラズマ電流による熱輸送が、内外ダイバータプラズマ非対称性に影響を及ぼしている可能性が指摘された。ITERでのベリリウム第一壁の寿命とベリリウム共再堆積層中のトリチウム蓄積量の評価には、周辺プラズマのパラメータやベリリウムの損耗率の不確かさのため大きなばらつきがあることが報告された。AUG, TEXTORおよびLHDから高熱負荷によるタングステン溶融層のダイナミクスについて報告された。また、パルス電子ビームの繰り返し照射により、溶融に必要なエネルギーの約1/10で亀裂が発生したことが報告された。

EAST(中), JETおよびKSTAR(韓)から今後の実験計画が報告された。特にJETでは、総額6千万ユーロの資金を投入し、真空容器保護タイルをITERと同様の材料(主プラズマ室:ベリリウム, ダイバータ室:タングステン)で構成する改造および、加熱パワーと加熱時間を従来の20MWで10秒間から34MWで20秒間への増強を完了し、8月から運転を開始することが報告された。

日本側からは3件の発表が行われた。吉田(九大)は、JT-60U(日)の第一壁炭素タイルの側面でのトリチウムの蓄積量は表面側から底面側に向かって2種類の指数関数的に減少することを示した。この傾向はダイバータタイル側面でのそれと同様であった。また、タイル底面にも微量のトリチウムが蓄積していることが新たに見出された。増崎(核融合研)は、fuzz化したタングステン試料をLHDのダイバータプラズマに曝した結果、アークによるfuzz構造の損耗が観測されたことを報告した。また、LHDのステンレ

ス製第一壁パネルが局所的に溶融しており、一部では溶融層が重力に逆らって上方に流れていたことを報告した。この流れの向きは磁力線に対し垂直方向であり、溶融層の駆動力のひとつがローレンツ力であるというモデルと矛盾しない。芦川（核融合研）は、装置間比較実験 DSOL-21 の一環として LHD で実施した球体炭素粒子の入射実験の結果を紹介した。直径 $8\ \mu\text{m}$ および $120\ \mu\text{m}$ の球体炭素粒子を載せたホルダをダイバータ部に挿入し、プラズマ中でのこれら粒子からの発光を高速可視カメラで観測した。直径 $8\ \mu\text{m}$ の球体炭素粒子では発光持続時間は $5\ \text{ms}$ 以下で速度は $40\ \text{m/s}$ 以下であった。一方、直径 $120\ \mu\text{m}$ の球体炭素粒子では発光持続時間は $5\text{--}10\ \text{ms}$ 程度で速度は $20\ \text{m/s}$ 以下であった。球体炭素粒子がホルダから浮上する運動とホルダから離れた後の運動を区分する必要がある、高速可視カメラでは主に後者の運動の解析に寄与するとの議論を行った。

2. 「計測」

第20回会合が開催され、60名が出席した（内訳／日本5名、欧州32名、ロシア4名、米国7名、中国5名、韓国1名、インド2名、ITER 機構4名）。主な内容を以下に記す。

(1) ITER の計測における最重要課題（High Priority Topics：HP）への取り組み状況

「HP：損失 α 粒子計測手法の開発」：ITER機構より、熱負荷を軽減するためにレシプロケーティングブロープ方式を採用した損失 α 粒子計測装置の概念設計が報告され、今後の検討の進展が期待された。

「HP：較正手法及び較正源の評価」：中性子計測装置の較正方法に関する最終報告書が提出され、本 HP は終了となった。ただし、較正に要する期間の短縮の可能性について、専門家による検討を継続することとなった。

「HP：プラズマ対向第一ミラーの寿命の評価」：第一ミラー専門家ワーキンググループを中心として、第一ミラーの設計におけるガイドライン（ドラフト）を次回会合までに作成する方針となった。このガイドラインには、推奨されるミラー材料をはじめ、プラズマ粒子の照射により生ずるエロージョンの回避・緩和、コーティングの緩和・除去等に関する手法が記載される見込みである。梶田（名大）は、ヘリウム照射により材料表面近傍に形成されるナノ構造とその反射特性への影響について報告した。また、ナノ構造により黒化した材料を光学計測におけるビューイングダンブとして使用する可能性について議論された。

「HP：壁からの反射光の光学計測への影響の評価」：詳

細なシミュレーション計算により赤外 TV 計測における壁反射光の寄与を評価した結果が EU より報告された。草間（原子力機構）は、タングステンの双方向反射分布係数について初めて測定データが得られたことを報告した。

「HP：プラズマ立ち上げ時に必要な計測性能の評価」：

プラズマ立ち上げ時の電子密度分布、電流分布、放射損失分布等の計測性能について議論が行われた。河野（原子力機構）は、信頼性の高い電子密度計測として、ポロイダル偏光計でのコットンムートン効果測定に基づく手法が有望であるとして議論を行った。今澤（原子力機構：代読／河野）は、ポロイダル偏光計の電流分布計測の精度を高めるには、相対論効果を考慮することが不可欠であること、またファラデー効果とコットンムートン効果の両者を測定することが有効であることを報告した。

「新 HP：プラズマ制御」：ITER 機構でのプラズマ制御システムの概念設計検討が本格化しつつあることを踏まえ、プラズマ制御における計測に関連した課題を検討するために、新しい HP を設定する方針となった。

(2) 各極における ITER 計測装置の設計検討の現状

会合の初日（23日）には、EU におけるプロGRESS 会合が開催され、広範囲にわたる最新の活動状況が報告された。伊丹（原子力機構）は JT-60SA の計測装置について、可視／赤外 TV 計測、トムソン散乱計測、モーショナルシュタルク分光計測、荷電交換再結合分光計測等の設計検討に関する最新状況を報告した。草間および河野は、日本が調達する ITER 計測装置について、マイクロフィッションチェーンバー、ダイバータ不純物モニター、周辺トムソン散乱、ポロイダル偏光計の設計検討・試作試験の進展について報告した。その他、米国、韓国、ロシア、中国、インドにおける進展が報告された。

(3) 専門家ワーキンググループ（SWG）の活動状況

HP に関する議論を含め、8つの SWG の活動状況が報告された。このうちレーザー応用 SWG では、同 SWG の議長より、谷塚（原子力機構）らが設計した周辺トムソン散乱用ビームダンブが報告され、EU が調達するライダートムソン散乱への適用性についても議論された。また、遠赤外レーザーを光源とするトムソン散乱に基づき電流分布を計測する手法について、基礎的な検討結果が報告され、解決すべき多くの課題があることが認識されるとともに検討を継続することが奨励された。川端（核融合研）は、2波長の遠赤外レーザー（波長； $57\ \mu\text{m}$ および $48\ \mu\text{m}$ ）を光源とする干渉計測手法について、ショットキーバリアダイオードミキサが検出器として使用可能であること等最新の開発結果を報告した。