



■ITPA (国際トカマク物理活動) 会合報告(21)

●分野：「計測」¹，「定常運転」²，「スクレイプオフ層およびダイバータ物理」³

●開催日：2007年10月29日～11月2日¹，2007年12月10日～12月12日²，2008年1月7日～1月10日³

●場所：成都(中国)¹，ガルヒン(ドイツ)²，アピラ(スペイン)³

担当委員：川端一男(核融合研)¹，河野康則(原子力機構)¹，草間義紀(原子力機構)¹，間瀬淳(九大)¹，笹尾真実子(東北大)¹，井手俊介(原子力機構)²，及川聡洋(ITER国際チーム)²，鈴木隆博(原子力機構)²，高瀬雄一(東大)²，中村幸男(核融合研)²，花田和明(九大)²，福山淳(京大)²，朝倉伸幸(原子力機構)³，加藤隆子(核融合研)³，仲野友英(原子力機構)³，高村秀一(名大)³，田辺哲朗(九大)³，(下線は当該グループの会合への出席者を，1から3の上付き数字はグループとの対応を示す)

2007/2008年の秋期・冬季に，ITPAに関する上記3つの会合が開催された。日本からの参加者は6名であった。次回以降の予定(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	2008年4月14-18日 2008年11月17-21日	ローザンヌ(スイス) ガンジーナガル(インド)
定常運転	2008年4月15-17日 2008年10月20-22日	ボストン(アメリカ) ローザンヌ(スイス)
スクレイプオフ層およびダイバータ物理	2008年9月15-18日	長崎(日本)

1. 「計測」

本会合(第13回)には，46名(日：4名，中：19名，欧：12名，米：2名，露：4名，韓：1名，ITER機構：4名)が出席した。特別セッションのテーマとして，中性子計測及びITER計測装置の設計レビューがとりあげられた。

中性子計測のセッションでは，垂直中性子カメラを上部ポートに設置するオプションと下部ポートに設置するオプションの比較が行われ，後者の方がより高いS/N比が得られることが報告された。ただし，どちらの場合でも，他の機器との取り合いの観点から実際の設置には難点が多いことが指摘された。笹尾は，中性子計測ワーキンググループの活動報告を行い，中性子計測装置の較正方法の確立や真空容器中における較正用中性子線源の設置位置の決定には，詳細な数値シミュレーションが必要であること，較正精度の向上には中性子輸送コードを用いたモデリングが必要であること等を報告した。

計測装置の設計レビューに関しては，2007年7月に実施されたレビュー結果を受け，3件の設計変更要求案(いくつかの測定パラメータに対する測定範囲や分解能の変更及

び決定，計測装置の追加，ITERサイトでの計測用ポートプラグ試験施設への要求事項)がまとめられたことが報告された。

以下，日本からの報告内容を記す。秋山(核融合研，代読：吉田(九大))は，LHDの再帰反射ミラーについて，4ヶ月間使用した後の反射率は，波長10ミクロン以下では40%以下に低下するものの，波長50ミクロン以上では70%以上を維持していること，一方，偏光特性には大きな変化がないこと，堆積物の厚さは再帰反射ミラーの中心部に向かってより厚くなっていることを報告した。吉田は，この再帰反射ミラーをSEMやTEMを用いて詳細に調べ，反射率の低下は，鉄やクロムなどの堆積による表面粗さの増進，反射率の低い酸化鉄の形成，微小なヘリウムバブルによる多孔質構造の形成等が原因であることを報告した。笹尾は，科研費特定領域「プラズマ燃焼のための先進計測」の研究課題に関連して，損失アルファ粒子計測，ヘリウムビームを用いた閉じ込められたアルファ粒子の計測，スチルベン検出器を用いた中性子計測へのデジタル信号処理の適用，周波数ホッピングマイクロ波反射計の開発，中性子分光用CVDダイヤモンドの開発，ICRF波によるプラズマ計測法等の進展を報告した。特に，損失アルファ粒子の軌道の詳細な計算を行い，これに基づく検出器の設置位置等に関する要求事項について議論を行った。また，損失アルファ粒子計測用セラミックシンチレータについて，放射線の照射により低下した発光強度がアニーリングにより回復することを示した。草間は，日本が調達予定のITER計測装置のうちダイバータ不純物モニター，周辺トムソン散乱計及びマイクロフィッションチェンバーについて，それぞれIn-situでの感度較正法の開発及び光軸調整機構の設計，光源YAGレーザー増幅器の開発，MIケーブルの開発及びMCNP法による中性子束の評価等が着実に進展していることを報告した。河野は，ITERポロイダル偏光計のレーザー計測視線配置について，平衡再構築を用いた精度評価に基づき誘導運転シナリオIIに最適な視線配置案が得られたこと，この視線配置案は，非誘導運転シナリオIVやプラズマ放電初期の外付けリミター配位にも良好に適用可能であることを報告した。また，フーリエ変換分光器を適用したトムソン散乱計測の開発について，TPE-RX装置を用いた原理実証実験が成功したことを報告した。

2. 「定常運転」

今回は第12回目の会合であり，約25名(日：1名，米：6名，欧：約11名，韓：1名，中：1名，ITER機構：5名)が参加した。本グループに関連して以下の項目について議論を行った。1)ITERにおけるプラズマ着火及び電流立ち上げ：PPPLからTSCを用いた，ITER立ち上げシミュレーション結果の報告があった。立ち上げ時のプラズ

マ径やダイバータ移行タイミング/Hモード遷移タイミングが、内部インダクタンスや磁束の消費に影響する事が示された。これらやEFDAによるITERポロイダルコイルのシミュレーションから、大きなプラズマ径での立ち上げと早期のダイバータ移行が重要であることが示された。またITER機構から、大径/早期ダイバータ移行の新たなシナリオが提示された。2)加熱/電流駆動システム:LHCDコードについて、コード間比較の現状が報告された。Alcator C-ModにおけるLHCD実験について、CQL3Dコードを用いた計算と硬X線分布/電流分布計測結果の比較が示された。硬X線分布の広がりには計算で予測されるより広がったものであったが、電流分布計測と計算は概ね一致している。NBCDに関して、今後のコード間比較の方針について議論を行った。GAから、off-axis NBCD分布は磁力線と入射ビームのアライメントに依存する事が示された。JAEAからは、ITERにおけるNBからの角運動量入力についての評価が示された。ITERの真空容器及びテストブランケットモジュールへのフェライト鋼導入に伴うリップル磁場構造がNBイオン及び α 粒子の閉じ込めに与える影響の評価について報告があった。3)ITER運転シナリオ・モデリング:CRONOSやONETWO等のコードを用いた、ITERハイブリッド運転/定常運転のシミュレーションの進展に関して報告があった。CRONOSではECCDによる中心安全係数の変化、ONETWOでは自発電流割合82%の定常運転のシミュレーションの結果等が示された。電流立ち上げのシミュレーションに関して、ベンチマークのガイドライン等について議論を行った。4)実時間制御:前回の会合で、各々の装置において用いられている制御に関してデータベースを作る提案がされ、今回までに集められたデータベースが示された。また、DIII-Dにおける電流立ち上げ時の中心安全係数制御の実験結果が示された。5)その他:国際比較実験の内容について議論を行った。また、各装置から国際比較実験等に関する実験スケジュールの説明があった。ITERにおける研究計画について議論を行った。議論の結果を踏まえ、カダラッシュで行われた"ITER Research Plan"に関する会合に遠隔で参加し議長より報告した。

3. 「スクレイプオフ層およびダイバータ物理」

第10回会合には米、欧、日、中、露、ITER機構から合計40名(日本からは3名)の参加者があった。今回は、真空容器内の水素同位体蓄積量の評価と除去、非接触ダイバータプラズマの理解、過渡的な熱負荷の評価と抑制方法、ダストの発生と輸送について進展結果を討論した。加えて、計測トピカルグループの代表者と共にITERに設置予定の主なダイバータ計測器に関する討論が行われた。

ITERでのトリチウム蓄積量の予測について、これまで主に炭素の共堆積の検討を行ってきたが、特に今回の会合ではタンゲステンなど金属材、およびベリリウムや炭素とタンゲステンの混合堆積層での水素蓄積、あるいは水素とベリリウムやヘリウムの混合プラズマを金属材に曝した場合の水素蓄積量など、ITERでの対向材表面に近い状況下

での測定結果が報告された。例えば、すべてのタイルをタンゲステンコーティング炭素材タイルに置き換えたASDEX-Upgradeでは、全面炭素材タイルのときと比較して重水素蓄積量は1/10に減少したことから、炭素との共堆積が主な要因と報告された。EUで行われたタスクのレビューがRoth氏から発表され、ITERでのトリチウム蓄積量が安全上の目標量(350g)に達するまでのDT放電の予想数は、現状のプラズマ対向壁材料(Be, C, W)では約300ショットであるのに対し、タンゲステン・ダイバータにした場合は2000-3000ショットまで可能であると報告された。EUではタンゲステンドイバータでの運転提案を予定より早める意見が強まっている印象を受けた。一方、ASDEX-UpgradeからELMによるタンゲステン損耗量がArを含むプラズマの場合に上昇する測定結果が報告された。米国の線型プラズマ照射装置PISCES-Aでは、以前、九大・名大グループから報告されたタンゲステンにヘリウムプラズマを照射した実験が追試され、表面に綿状の構造が形成される条件として照射時間に強く依存することが報告された。ITERの運転計画を考える上で以前に増して系統的なタンゲステン研究が要求されるようになってきた。

ITERダイバータ計測を検討するセッションでは、現在周辺・ダイバータ計測として計画されている12システムについて説明がなされ、今後の課題として、周辺プラズマ流速の計測方法、対向材の表面分析手法としてイオンビームを対向壁へ当て発生する中性子を計測する手法、レーザー照射による光学的な計測手法などが提案された。ダストの生成量の測定については、JT-60Uの結果などから、ITERでのダスト生成の評価におけるいくつかの仮定を修正することが重要という共通認識が得られた。

日本側からは5件の発表が行われた。増崎(核融合研)は、(1)LHDにおける金属対向材(SUS)内部への水素拡散過程について、ヘリウム照射によって発生する損傷および応力場のため拡散が抑制されること、(2)局所的な熱負荷集中の例として、ICRF加熱中にホットスポットがアンテナの保護板およびダイバータ板上で観測され、それぞれRFシースおよび最外殻磁気面外側の共鳴層でイオンが加速され衝突して生じること、(3)金属ダストが、グロー放電および主放電中に形成され、それぞれ金属と炭素の層状堆積層が剥がれたものであることを報告した。仲野(原子力機構)は(4)JT-60Uのダイバータにおける放射損失の発生源である炭素イオン(C^{3+})の生成機構について詳細な分光研究結果をもとに、ITERダイバータの計算結果について、JT-60では C^{4+} の体積再結合が顕著となるダイバータ領域でも体積再結合が発生せず、さらに低い電子温度の下流領域まで C^{4+} が輸送されことから、シミュレーションの再検討が必要であることを指摘した。朝倉(同)は(5)JT-60U内側ダイバータの炭素堆積層からELMによる熱・粒子の照射によって炭素ダストが放出される例などを示し、プラズマ流の方向に0.2-0.5 km/sの速度で運動すること、長い運転期間後に収集されたダスト量はダイバータ板損耗量の約7%に相当することを報告した。発表資料は<http://efdasqlipp.mpg.de/divsol/>を参照。