



■ITPA (国際トカマク物理活動) 会合報告(16)

- 分野：「輸送物理」¹，「閉じ込めデータベースとモデリング」²，「周辺およびペDESTALの物理」³，「定常運転」⁴
- 開催日：2005年10月3日～6日^{1,2}，10月3日～5日³，10月31日～11月3日⁴
- 場所：サンクトペテルブルグ (ロシア)¹⁻³，General Atomics (米国，サンディエゴ)⁴
- 担当委員：坂本宜照(原子力機構)¹，東井和夫(核融合研)¹，福田武司(阪大)¹，福山淳(京大)^{1,4}，藤田隆明(原子力機構)¹，小川雄一(東大)²，滝塚知典(原子力機構)²，竹永秀信(原子力機構)²，矢木雅敏(九大)²，山田弘司(核融合研)²，居田克巳(核融合研)³，浦野創(原子力機構)³，大山直幸(原子力機構)³，鎌田裕(原子力機構)³，小森彰夫(核融合研)³，杉原正芳(ITER 国際チーム)³，中嶋洋輔(筑波大)³，井手俊介(原子力機構)⁴，及川聡洋(ITER 国際チーム)⁴，鈴木隆博(原子力機構)⁴，高瀬雄一(東大)⁴，中村幸男(核融合研)⁴，花田和明(九大)⁴ (下線は会合出席者を，1から4の上付き数字はグループとの対応を示す)

2005年の秋季に，ITPAに関する上記4つの会合が開催された。「輸送物理」，「閉じ込めデータベースとモデリング」，「周辺およびペDESTALの物理」の3会合は，サンクトペテルブルグのHotel Moscowにて「Hモード物理と輸送障壁に関する第10回IAEA技術会合」に引き続いておこなわれ，グループ間の合同会合も多数開かれた。日本の参加者は16名に上った。「定常運転」の会合は，サンディエゴのGeneral Atomics社で行われた。

次回会合は，「輸送物理」と「閉じ込めデータベースとモデリング」が合同で2006年4月24～27日に米国のプリンストンプラズマ物理研究所で，「周辺およびペDESTALの物理」が4月10～12日に米国のマサチューセッツ工科大学で，「定常運転」は4月10～13日に日本原子力研究開発機構で開催の予定である。

1. 「輸送物理」

本会合(第9回)には約25名(日本からは5名)が参加し，①国際共同実験の結果・予定，②運動量の輸送，③先進トカマクにおける境界輸送障壁(Hモード)(「周辺およびペDESTALの物理」グループと合同)，④粒子輸送(「閉じ込めデータベースとモデリング」グループと合同)，⑤今後のグループの研究課題，等について議論した。

国際共同実験については，従来装置毎の報告が主で必ずしも共同実験の目的に合致しない議論も多かったが，今回はすべての実験について当該実験のまとめ役が各装置の結果をまとめて報告した。そのため，共同実験の目的に絞った議論ができ，それに基づいて実験提案をより具体的な

のとした。新しい共同実験の一つとして，JETとJT-60Uとでプラズマの条件を揃えて内部輸送障壁の形成・構造を比べる実験が提案された。

運動量の輸送は，本グループの重要研究課題の一つと見なされており，次回の会合にて2日間程度の作業部会を開くこととなった。今回は，Alcator C-ModとDIII-Dにて，無次元量を合わせたときに同程度(ファクター2程度の違い)のマッハ数の自発トロイダル回転が得られたこと，TCVでの電子サイクロトロン(EC)加熱プラズマでのトロイダル回転の測定，NSTXにおいてトロイダル回転に上限があるという報告があった。DIII-Dにおいて2006年からプラズマ電流方向，反プラズマ電流方向の両方向のNB入射が可能となることを受けて，従来から両方向のNB入射が可能となるJT-60Uとの共同実験が提案された。2006年の本グループの重要研究課題としては，JETにおけるIC加熱パワーの増大やDIII-Dにおける反プラズマ電流方向入射のNBの設置を受けて，引き続き電子加熱・少運動量入力の内相条件での閉じ込め改善研究に重点を置くこととなった。

最近の研究成果として，稲垣(核融合研)からLHDにおける電子熱輸送の非線形性・非局所性についての報告があり，トカマクにおける観測との類似点・相違点について議論された。

2. 「閉じ込めデータベースとモデリング」

本会合(第9回)には23名(日本からは4名)が参加した。閉じ込めデータベース・Hモードパワー閾値データベースと輸送モデリングの作業グループに加え，新たに密度分布および粒子輸送に関する作業グループを立ち上げ，密度分布の形成機構について「輸送物理」グループも交えて集中的に議論した。JT-60Uにおける電子密度分布はASDEX Upgrade(AUG)やJETと同様に低衝突周波数で尖頭化する傾向にあるがプラズマへの運動量入射の違い(もしくはプラズマ回転分布の違い)によっても分布形状が異なることが竹永(原子力機構)から報告された。AUGやJETからは，粒子供給分布が異なる中性粒子ビーム加熱と高周波加熱プラズマとの比較から，粒子供給分布の影響が報告された。ITERでの密度分布を精度よく予測するために，密度分布形成機構に関する国際装置間比較実験を提案することとした。輸送モデリングの観点から密度の新古典ピンチと異常ピンチ効果が議論された。

データベース作業グループでは，ELMy Hモード閉じ込めがベータ値の上昇と共に劣化するかどうかについてデータベース解析をさらに進めた。JT-60Uでは劣化があり，AUGとJETでは劣化しない場合があることを明示しその最有力原因はプラズマ断面形状の違いであることが滝塚(原子力機構)から報告された。この報告を踏まえ，断面形状を大きく変化させることができるDIII-Dを中心とした国際共同実験について議論した。Hモード遷移パワー閾値の

比例則はこれまでに種々提案されてきたが、それらを評価しITER運転シナリオ策定のための基準比例則を推薦できるかどうか議論した。比例則と実験データとのばらつきの原因となる隠れたパラメータもあり、今回では結論が得られず次回に向けた課題として残された。

輸送モデリング作業グループでは、矢木（九大）が日本の核燃焼プラズマ統合コード開発の現状を報告した。また同時に報告されたイオン温度勾配モード乱流による大域的輸送のシミュレーション結果は、ロシア研究者提唱の自己無撞着分布理論とあわせ議論の対象となった。ITERの予測シミュレーションは本グループの重要課題として実行されている。林（原子力機構）はITERの定常運転予測シミュレーションを前回回会に引き続き発表し、本グループの中心成果として認められた。

3. 「周辺およびペデスタルの物理」

本会合（第9回）には25名（日本7名、欧州9名、米国10名、ロシア1名、ITER1名）が参加した。議題と要点は以下の通りである。①ITERに必要な研究課題：ITER国際チームより、ELMの熱衝撃の低減に関して、ベレット入射によるELMの周波数制御、周辺エルゴダイズによるELMの沈静化に関して、幅広いデータの取得とモデリングの必要性が提言され、本グループの重点研究課題として一層力を注ぐこととした。②ELMダイナミクスと小振幅ELM/ELMなし領域：本会合に先立って開催された「Hモード物理と輸送障壁に関するIAEA技術会合」に本グループから報告した2件の論文(ELM崩壊の詳細な観測結果、小振幅ELM領域の系統化)を基に、今後の課題を議論した。特に、SOL領域での熱流の2-3次元の分布計測、および周辺揺動の発生原因の追求と制御性の評価に力点を置くこととした。③周辺安定性解析の発展：今後の課題として、ELMバーストの空間構造、異なるタイプのELMの共存理由、X点の役割、ELM崩壊時の周辺電流の変化、等の観測と解析を進めることとした。④ペデスタルの輸送とモデリング：複数のELM間輸送の理論、Blob等のシミュレーション結果、およびこれらを複合した統合化モデルの現状が報告された。これらの検証のため、分布データベースを一層充実させることとした。⑤分布およびスカラーデータベース活動：上記の要請を含め、各装置からの分布データの充実を図る。また、先進運転モードのペデスタルを含めた分布データベースの構築（「輸送物理」グループと協力）、コアペデスタルの連関とベータ値依存性の理解に必要なスカラーデータの拡充（「閉じ込めデータベースとモデリング」グループと協力）、先進運転モードのペデスタルデータベースの構築（「定常運転」グループと協力）を決定した。⑥国際装置間比較実験：次年度は10件（継続9件、新規1件）の比較実験を提案する。⑦本グループの活動戦略：重要研究課題として、実験およびモデリングによるペデスタル構造予測能力の改善、物理に基づく経験則の改善、実験および理論・モデリングによるELMの理解と小振幅ELM・ELM無し領域の開発とELM制御の確立の3テーマを継続する。

4. 「定常運転」

本会合（第8回）には約22名（日本2名、米国約11名、欧州5名、韓国1名、ロシア1名、ITER2名）が参加した。まず、ITER国際チームからITERにおける物理的検討課題についての説明がなされた後、国際装置間比較実験の現状と予定について各装置から報告があった。さらに加熱・電流駆動計算コードの検証およびコード間ベンチマーク、ITER定常運転シナリオのモデリング、実時間制御の実験とモデリング、「輸送物理」・「周辺およびペデスタルの物理」・「閉じ込めデータベースとモデリング」各グループとの協力について議論を行なった。

国際装置間比較実験に関して、AUG, DIII-D, NSTX, JT-60UからITER定常運転・ハイブリッド運転およびHモードペデスタル特性に関する最新の実験および解析結果の報告があった。特にDIII-Dからハイブリッド運転で問題となる鋸歯状振動の回避に $m/n=3/2$ の新古典テアリングモードが影響しているとの報告があった。アクチュエータに関しては、EC波電流駆動コード間のベンチマークの結果が報告され、良い一致が見られた。ITER運転シナリオのモデリングでは、TASKコードを用いCDBM05, CDBM, GLF23, Weiland各モデルの予言する温度分布をITPAの実験分布データベースと比較したところCDBM05モデルが最も良く実験結果を再現するとの報告があった。実時間制御に関しては、DIII-DからEC波による電流分布制御実験の解析の進展が、Tore Supraからは、最適なパワーと平行方向屈折率を試行錯誤的に探索する制御アルゴリズムの初期実験結果が紹介された。韓国からはKSTARの建設の進展と運転計画が紹介された。今回は詳細な議論のために4つの小グループ（RF計算コード比較、実時間制御、ITER運転シナリオモデリング、および国際装置間比較実験）に分かれたグループミーティングを2時間程度行い、まとめを会議後半に行った。

(2006年1月12日原稿受付)