



内外情報

■ITPA (国際トカマク物理活動) 会合報告(14)

- 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4月18日~21日^{1~3}, 5月4日~6日⁴
- 場所: 京都大学(日本, 京都)^{1~3}, Societa del Casino (イタリア, コモ)⁴
- 担当委員: 坂本宜照(原研)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(原研)¹, 小川雄一(東大)², 滝塚知典(原研)², 竹永秀信(原研)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(原研)³, 大山直幸(原研)³, 鎌田裕(原研)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(原研)⁴, 及川聡洋(ITER 国際チーム)⁴, 鈴木隆博(原研)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年の春季に, 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, 京都大学(福山研究室主催)にて同時に開催され, トビカルグループ間の合同会合も多数開かれた。日本の参加者は約50名に上った。冒頭の全グループ合同会合では, 伊藤(核融合研)が乱流輸送理論研究の新展開について報告した。また, 韓国からの唯一の参加者である Kwon (KBSI) が, 韓国における核融合研究の最新成果について報告した。「定常運転」の会合は, 「ITER にむけた ECRH 物理と技術」に関する第3回 IAEA テクニカル・ミーティング(2005年5月2~4日, イタリア, コモ)に引き続き行われた。

次回会合は, 上3グループは10月3~6日にロシアのサンクトペテルブルグで, 「定常運転」グループは11月に米国のサンディエゴで開催の予定。

1. 「輸送物理」

本会合(第8回)には34名(日本からは23名)が参加し, 国際装置間比較実験の現状と予定, 運動量輸送, 電子系内部輸送障壁, 帯状流・GAMについて議論するとともに, 粒子輸送・密度ピーキングについて閉じ込めデータベースとモデリンググループとの合同, 周辺ペDESTAL輸送について3グループ合同, QH モード物理について周辺およびペDESTALの物理グループとの合同セッションを行った。

ITER の運転は現在の大型トカマクと比べて少運動量入力・電子加熱主体であるため, このような炉心条件に近い状態での輸送特性が注目されている。特に運動量の輸送は, 閉じ込め改善と密接に関連するため, 少運動量入力下でのプラズマ流の形成機構について関心が高い。運動量輸

送セッションでは, Alcator C-MOD, Tore Supra 及び DIII-D から, 運動量入力がないプラズマにおいて観測されたトロイダル回転速度が蓄積エネルギーとプラズマ電流の比に比例しているとの報告がなされた。居田(核融合研)から JFT-2M と CHS で観測された自発的トロイダル流について報告がなされ, その形成の物理機構についてトカマクとヘリカルとの比較が議論された。小出(原研)から, JT-60U において, 高速イオンのリップル損失に起因する負電場形成による自発的トロイダル流について報告が行われた。また電子系内部輸送障壁のセッションでは, T-10 の負磁気シア放電における電子系内部輸送障壁形成と q 分布の時間発展の関係について議論された。井戸村(原研)から正/負磁気シア放電におけるジャイロ運動論的グローバルシミュレーション結果が報告され, 正磁気シアでは streamer 形成により分布が stiff になり, 負磁気シアでは帯状流形成により内部輸送障壁が形成されることが示された。

帯状流・GAM のセッションでは, 藤澤・濱田(核融合研)から CHS, JIPPT-IIU における重イオンビームプローブを用いた測定結果が示され, 帯状流や GAM 振動について議論が行われた。また渡利(核融合研)から GAM 振動における補足粒子の効果について, 田中(核融合研)から乱流と粒子輸送の関係について報告がなされた。

国際装置間比較実験については, 各装置から現状と予定が報告され, 各提案について比較パラメータの具体化等について実験内容の議論を行った。

2. 「閉じ込めデータベースとモデリング」

本会合(第8回)には28名が参加した。全体会合(他グループとの合同会合含む)では, 主に, 粒子輸送・密度分布ピーキング, 国際装置間比較実験に関する議論を行った。密度分布のピーキングに関して, JET, ASDEX, JT-60U, Tore Supra から報告がなされた。竹永(原研)から, JT-60U でも ASDEX, JET と同様に, 規格化衝突周波数の減少とともに密度ピーキングの傾向があると報告された。国際装置間比較実験に関する滝塚(原研)の報告では, JT-60U における H モード閉じ込め性能は, JET, DIII-D と異なり, β の上昇により劣化することが示された。装置間の違いを決めている隠れた変数について考察がなされた。

データベース分科会(約15名)では, 主に, LH 遷移, データベースの現状と解析結果, 学会発表・論文等に関して議論を行った。NSTX における LH 遷移しきい値パワーの報告の後, 都筑(原研)から JFT-2M においてしきい値パワーに対するフェライト鋼の影響は小さいことが報告された。秋山(核融合研)からは, CHS における周辺ペDESTALの形成パワーに関する報告が行われた。トラス系共通の物理解理解に向けた研究が今後進展すると期待される。また, コアプラズマ輸送と LH 遷移モデルを組み合わせたシミュ

レーションにより、しきい値パワーの磁場依存性を説明可能なことが、日渡（電中研）により報告された。

モデリング分科会(約10名)では、まず、分布データベースについて議論した。ITER 運転シナリオに関するシミュレーションの結果も登録し、MHD 安定性や輸送特性等を詳細に解析していくことを検討した。次に、ITER シミュレーションの3件の発表があり、林（原研）は弱い負磁気シア配位での定常運転について報告した。また、矢木（九大）が、日本の「核燃焼プラズマ統合コード開発」の一環として行っているグリッドコンピュータを用いたグローバル ITG コードの開発について報告した。Te/Ti 比の観点からの輸送モデル検証に関する2件の発表があり、本多（京大）から、分布データベースを用いた輸送モデル (CDBM, GLF23, Weiland) の比較検証が報告された。

3. 「周辺およびペDESTALの物理」

本会合には約25名の参加があり、type-I ELMのダイナミクス、ELMの極小化、小振幅 ELMの発生領域、周辺部安定性解析、ELM間 (inter-ELM) における輸送、周辺ペDESTALのモデル化、トカマク系とヘリカル系における周辺とペDESTALの物理等のトピックを中心に発表・議論が行われた。

将来の装置において高熱負荷が懸念される type-I ELMの特性については、多くの装置から報告があった。ELMによるペDESTAL崩壊は、いずれの装置も数100 μ sのタイムスケールで起きているが、放出されるエネルギーはJETやDIII-DではペDESTAL部に蓄えられているエネルギーの10%以上の大きなパルスであるのに対して、JT-60UやASDEX-Uでは10%以下である。この様に、装置間でELM特性が異なっており、近年積極的に進められている装置間比較実験での原因究明が期待される。ELMの周期性の理解においては、ELM周期よりも短いタイムスケールで、MHD現象が支配するELMフェーズと、輸送が支配するInter-ELMフェーズを別個に取り扱うことが要求される。JT-60Uからは、Inter-ELMフェーズに起こる電子の熱拡散係数は、プラズマ周辺領域において、イオンの新古典輸送レベルにまで低下するという報告があった。Grassy ELM, type-II ELM, QH-modeといった小振幅ELMやELMのないHモードの運転領域については、ITERプラズマへの適合性に関して積極的に議論が行われた。Type-I ELMの制御に関しては、NBI入射方向やプラズマ回転とELM周波数の関係に関するJT-60Uの実験結果やDIII-Dにおける外部コイルを用いた周辺エルゴディック層の生成によるELM安定化の実験結果・理論解析の報告があった。ヘリカル系からは、LHD, CHS, Heliotron J装置からペDESTAL構造、Hモード特性、周辺揺動等に関する報告があった。ヘリカル系ではプラズマ周辺部にエルゴディック領域があり、ヘリカル系のHモードとエルゴディックコイルを用いてELMを安定化したトカマクのHモードとの比較も今後必要と思われる。

また本会合では、安定性解析とモデリングの発表が行われるなど、多くの装置での周辺プラズマおよびペDESTAL

のデータベースが充実してきたことが示される報告もあった。今後はMDSplusによる分布データベースを充実させ、さらにペDESTAL構造のモデル検証を進めていくことで合意した。

4. 「定常運転」

本会合（第7回）には約20名（日本：5名、米国：4名、欧州：約7名、韓国：1名(IPPから参加)、中国：2名)が参加した。主に、国際装置間比較実験の現状と予定、放電シナリオや電流駆動計算コードの現状と比較、およびTokamak Physics Basis (TPB)の本グループ担当について議論を行なった。国際装置間比較実験に関して、DIII-D, ASDEX Upgradeから制御やハイブリッド運転実験に関する最新の実験結果、JT-60Uからハイブリッド運転実験のデータ解析の進展、またJETを含めて各装置の今後の予定についてそれぞれ報告がされた。その他本グループに関連する研究成果について、LHD(RFを用いた長時間放電等)、Tore Supra(定常放電における巨大振動について)、FTU(LH, ECを用いたITB実験等)から報告があった。アクチュエーターに関して、ECRFおよびICRFコードのベンチマークの進展について報告があり、それぞれ概ね良い一致が得られている。放電シナリオ・コードに関して、ITERハイブリッド運転のTSCを用いた運転領域の検討やCRONOSを用いたシミュレーション、GLF23を用いた定常運転のシミュレーション、等の進展に関して報告があった。GLF23を用いた結果では、グリーンワルド密度の1.04倍、外部加熱パワー73MWで $Q=5$ の完全電流駆動が示されたが、密度分布やペDESTALの仮定等に関してさらに今後の検討が必要である。ASDEX-Upgradeの改善Hモードの乱流モデルを用いた解析結果や、中国からはHL-2AにおけるLHCDシミュレーションについて報告があった。TPBに関して第2回編集者会議での編集者からのコメントについて議論を行ない、それへの対応を決定した。ITERハイブリッド・シナリオでのペDESTAL特性やMHDの影響について、各装置のデータの解析や会議発表の可能性等について議論を行った。また、プラズマの制御に関する国際装置間比較実験について、どのようなアプローチが可能であるか議論を行った。制御アルゴリズムをいくつかの装置で比較する等の可能性が示された。次回会合では「制御」を中心に議論を行う予定である。

(2005年7月25日 原稿受付)