



インフォメーション

■会議報告

21st International Conference on Plasma Surface Interactions 2014 (PSI2014)

鈴木康浩, 時谷政行 (核融合研)

2014年5月26日-30日の5日間, 石川県立音楽堂 (金沢) にて標記会議が開催された。石川県立音楽堂は, 以前に Plasma Conference 2011 が開催された場所でもあり, JR 金沢駅に隣接した交通アクセスがよい会場である。会議初日のオープニングセッション前にはパイプオルガンの生演奏が披露された。会議参加者は約390人, 発表件数は374件 (米国・カナダ64件, EU144件, 日本77件, 中国40件, 韓国12件, ロシア25件, ITER 8件, その他4件) で, そのうち口頭発表は61件であった。中国の EAST, HL-2A, 韓国の KSTAR の実験が本格化していることと, 開催地が日本であることからアジアからの発表件数が増加しているようである。本会議のトピックは多岐にわたり, プラズマ-材料相互作用, 材料損耗, トリチウム保持, 粒子供給・排気制御, 壁コンディショニング, 不純物輸送, 周辺プラズマ物理などが実験・理論シミュレーション共に議論される。会議初日は小林政弘氏 (核融合研) がステラレータ・ヘリオトロンのプラズマ周辺輸送における3次元磁場構造のインパクトに関するレビュー講演を行い, これまで LHD 実験で得られた成果と EMC3-EIRENE を用いたシミュレーション研究との比較を照会し, トカマクで共鳴磁場摂動 (RMP) コイルを用いた場合を考察した。一口に3次元磁場構造というが, ステラレータ・ヘリオトロンと RMP 有りのトカマクは本質が異なり, 何が同じで, 何が違うかが詳細に考察された優れたレビューであった。また, ITER では RMP コイルの設置が決まっており, すでに中国で線材の製作も始まっている。関心が高いトピックであり, 活発な議論が行われた。会議の進行は, レビュー講演, 各トピックに関連した招待講演, 口頭発表が数件という形式で行われ, 午後後半はポスターセッションという形式で行われた。それぞれのセッションはトピックが巧みに配置されており, それぞれのトピック間の連携が重要であることが理解できるようなプログラムであった。次回は, 2016年5月30日-6月3日までイタリア・ローマにて開催予定である。以下に本会議における磁場閉じ込め分野・核融合工学分野の発表内容の概要について報告する。(鈴木)

・磁場閉じ込め分野

磁場閉じ込め分野では, ITER のタングステンダイバータ, および JET ITER-like wall を念頭に置いた高熱流束の低減に関する研究と SOL 領域での不純物輸送に関する研究が目立っていた。高熱流束の低減は, プラズマデタッチにより改善するシナリオが有力であるが, 放電中すべての

時間でデタッチ状態が維持されているわけではない。したがって, プラズマがアタッチ状態にある場合, 高熱流束がわずか1mmの特性長で減衰する可能性が JET および ASDEX Upgrade 装置の実験から示唆されており, ダイバータのフットプリントを広くとることでパワーを低減させる必要が強く指摘されている。また, 周辺局在化モード (ELM) をはじめとする MHD による高熱流束が, タングステンダイバータを損傷させる可能性が指摘されており, その低減も重要課題である。会議では, 不純物パフの入射によりデタッチ状態の定常維持を念頭に置いた研究成果が数多く報告された。A. Scarabosio (IPP) らは, ダイバータのプライベート領域への熱流束を1次元でモデル化してスケーリング則を構築し, ダイバータ上の熱流束の広がりをパラメータ S , 熱流束減衰の特性長を λ_q で表現し, ITER で予想される熱流束のピークは積分長 $\lambda_{int} = \lambda_q + 1.64S$ に比例することを見いだした。この結果は, SOLPS コードによるモデリング結果と比較し, よい一致を見せていることが報告された。一方, R.J. Goldston (PPPL) は階層ドリフト (HD) モデルによる SOL 領域での熱流束幅の理論的予測を報告した。HD モデルは DIII-D をはじめとする多くのトカマク実験に適用され, その精度を高めてきている。特に, 本会議では, J. Horacek (IPP-Czech) より, COMPASS トカマク実験に HD モデルを適用した結果が報告され, HD モデルが非常によい予測を与えることが強調された。この問題に関しては, 予測モデルと解決シナリオが確立しておらず, 今回の会議で報告された内容をさらに発展させて研究が続けられると思われる。

一方, SOL 領域の不純物輸送に関しては, SOLPS パッケージを活用した研究が目立っていた。SOLPS パッケージは, ASDEX グループを中心に整備されており, 流体近似を用いた輸送コードである B2 あるいは B2.5 と, 中性粒子モンテカルロコード EIRENE を中心としたコードスイートである。SOLPS は ASDEX をはじめ, JET, EAST 実験に応用されており, ITER の予測にも活用されるなど大きな勢力になっているようである。そのほか, UEDGE あるいは EMC-EIRENE を活用した考察も数多く報告されていた。

他の興味深いテーマとして, これまでトカマクの標準ダイバータ配位であったポロイダルダイバータ配位に変わる革新的なダイバータ配位として Supre-X ダイバータ, snowflake ダイバータの実験計画・結果についていくつか報告された。現在, MAST および NSTX 装置はアップグレード改造中であり, それぞれ Super-X ダイバータと snowflake ダイバータ配位が実装される予定である。これらのダイバータ配位は, デタッチと合わせて熱流束低減の決定打として期待されている。DIII-D では snowflake ダイバータの実験結果が報告され, ダイバータ磁力線を広げることにより熱流束が低減することに成功したことが報告された。(鈴木)

・核融合工学分野

核融合工学分野では、ITERの運転シナリオを意識した研究が目立っていた。その中でもJETトカマクでのITER like wall (JET-ILW) 実験は特に注目されているように感じた。この実験は、ITERの対向壁を模擬するためにJETトカマクのプラズマ対向壁の第一壁をベリリウム、ダイバータをタングステンに置き換えてプラズマ壁相互作用(PWI)の研究を実施するものであり、ITER運転前においてITERで起こり得るPWI素過程を抽出することができるという点で重要な意味をもつ。S. Brezinski (JET-EFDA)の報告では、JET-ILW後に、JETの主な不純物元素は炭素からベリリウムに置き換わり、水素リテンション率は炭素壁の時代と比較して約一桁低くなったこと、H-modeでの Z_{eff} がILWで約1.2となり、炭素壁時代の $Z_{\text{eff}} \sim 2$ と比べ大幅に低減したこと、などが示され、プラズマに対しては好ましい結果が出ているという内容であった。また、将来の炉を見据えた場合に、ダイバータへの熱負荷低減が不可欠となってくることから、ネオン、窒素、アルゴンなどをダイバータ領域に強制的に入射することで放射冷却を促進させる運転シナリオについて、実験とシミュレーションから複数件の報告があった。さらに、ダイバータのアーマー材料にタングステンが使用された場合、ヘリ

ウム照射によって表面に高密度ヘリウムバブル層が形成され、絨毛上の損傷組織(W-Fuzz)に変質するという問題が近年の実験で明らかになってきたが、今回の会議では、W-Fuzz形成メカニズムをコンピュータシミュレーションを用いてモデリングすることで、その形成シナリオの物理を探るといった内容の報告が、4日目の午前中に集中して行われ、活発な議論が成された。また、核融合炉では定常長時間放電が必須の課題であるが、核融合科学研究所の大型ヘリカル装置(LHD)では、2013年度に48分間のヘリウム長時間放電が達成され、長時間放電におけるPWIの研究にいくつかの新しい知見が加わっている。その中の一つとして、長時間放電においては、第一壁表面に形成される炭素が主で金属(鉄)をわずかに含むMixed-material堆積層がヘリウムの吸蔵・放出に強い影響を与える可能性があるという内容が報告された。

核融合工学分野全体の印象としては、これまで行われてきた実験室規模の基礎研究から、核融合炉を本格的にめざす大規模研究にシフトしているように感じた。ITERの運転開始時期が迫るにつれて、核融合炉を視野に入れた研究がさらに加速することが期待される。

(時谷)

(原稿受付：2014年6月16日)



写真 会議初日の全体写真。