



インフォメーション

■会議報告

International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (26th PSI)

大塚哲平 (近畿大学), 岡本 敦 (名古屋大学),
庄司 主 (核融合科学研究所)

標記国際会議が2024年5月12日-5月17日, フランス・マルセイユで開催された。会議場はナポレオン三世のために建造されたというファロ宮殿の地下階にあるホールであった。隣接したテラスからはマルセイユの港湾とセント-ジョン要塞を一望することができた。

会議期間中, 12日にチュートリアルセッション (4件), 13日~17日に14セッションの口頭発表, および4セッションのポスター発表が行われた。参加者数は総勢で442名であった。

本会議は, PSIとして50周年の節目にあたるということで, 50周年記念セッションにおいて各国のレジェンド5名が登壇し, 10年毎の会議の様子や, 研究の進展について紹介した。日本からは大野先生 (名古屋大学) が登壇され, 2006年~2014年のタングステン材料とプラズマとの相互作用に関する研究の進展について紹介した。また, 2002年岐阜のPSIから実施されてきたサッカー大会の試合結果についても紹介され, 大いに会場を沸かせていた。

最初のイントロダクションセッションでは, Pitts氏からITER建設の新しい工程についての報告があった。ITERへのソーシャルツアーでは, 大型クレーンで建造物の材料を移動するところや, アッセンブリ建屋で真空容器の溶接作業をしている様子を見学したが, 完成までにはもう少し時間がかかりそうであることを実感した。

会議の主なセッションの内容については下記を参照して頂きたい。次回は, 2026年にドイツ・レーゲンスブルクで開催予定である。

Operation in Metallic Machines

Neu氏より各国各機関の核融合実験炉における金属壁利用の成果の推移が総括された。引き続き, Tsitoron氏 (CEA) およびBobkov氏 (MPI) からWESTおよびASDEX Upgrade (AUG) についての金属壁利用の成果報告がなされた。いずれも, ベリリウムの利用を取りやめたあとのボロン利用 (ボロニゼーション) についての話題が中心であった。

Boronisation

Conditionning & Erosion deposition

引き続いた2つのセッションでは, 9件中7件がボロ

ニゼーション関連の発表であった。Zuo氏 (HFIPS) はEASTにおけるフルメタル壁のボロニゼーションの実績について, Schmid氏 (MPI) とAbe氏 (PPPL) はそれぞれITERおよびDIII-Dにおけるトリチウム蓄積に及ぼすボロニゼーションの影響について報告した。

日本からは, 中野氏 (QST) がJT-60SAのファーストプラズマ点灯の成功と今後の進捗状況について, 庄司先生 (NIFS) がLHDにおける不純物移行シミュレーションの結果について報告した。

Liquid Metals

Hu (HFIPS) 氏がEAST, Dux氏 (MPI) がAUG, Boyle氏 (PPPL) がLithium Tokamak Experiment- β (LTX- β) における液体金属プラズマ対向材料に関する報告を行った。Hu氏から液体Li蒸気の再付着層への重水素蓄積・放出挙動に及ぼす炭素や酸素の不純物の影響について報告がなされた。また, Dux氏はタングステン製キャピラリー多孔質構造 (CPS) による液体スズの保持がプラズマ中の不純物の濃度や移行挙動に及ぼす影響を報告した。Morbey氏 (DIFFER) は, DIII-DおよびMagnum-PSIで照射したリチウム-重水素共堆積 (付着) 層およびリチウムフィルムの重水素保持と放出挙動について報告し, 200℃程度でも重水素が放出されることを示した。

Retention & Permeation of T

Widdowson氏 (UKAEA) がJETにおけるレーザー誘起放出質量計分析 (LID-QMS) により, タイルの水素同位体蓄積および除去時の状況を把握することができたことを報告した。また, JETが全てのプログラムを終了し, 役目を終えたことが紹介された。Wüst氏 (FZJ) はタングステン中の水素同位体蓄積の深さ方向分布をLIBS (レーザー誘起ブレイクダウン分光法) で深さ精度良く測定した結果について報告した。

PMI & PFCs

上田先生 (大阪大学, 現 追手門学院大学) がプラズマ-タングステン材料の相互作用に関する研究のレビューを行った。FUZZ構造の生成メカニズムや, ヘリウム同時照射による水素同位体保持量の低下の報告例が紹介された。

(大塚)

Detachment physics

Henderson氏 (UKAEA) からデタッチの簡約モデルについて講演があった。AUG, JET, MAST-Uのデータがモデルに基づき説明された。Winters氏 (Max Planck IPP) から, W7-Xのデタッチではトカマクと異なり磁力線垂直方向の熱流束が重要な役割を果たすこと, 放射がX点近傍で生じる場合にコアプラズマが安定に維持されることが報告された。Li氏 (CAS) からはEASTに新たに導入されたダイバータにおけるデタッチについて, 運動量損失は中性粒子との荷電交換が, パワー損失は不純物 (アル

ゴン) による放射がそれぞれ支配的であるとの報告があった。Verhaegh氏(UKAEA)からはMAST-Uのsuper-Xダイバータで中性粒子の閉じ込めにより分子活性化分解によるパワー損失がSOLを通過するパワーの14%に相当するとの報告があった。Scotti氏(Univ. Milan-Bicocca)からは、セパトロリクスにおいて密度を上げていくと温度が短時間で急激に低下するcliffと呼ばれる現象が紹介された。

Radiative regimes & D-T plasmas

Bernert氏(Max Planck IPP)からX点放射(XPR)と呼ばれる状態についてのレビュー講演があった。X点近傍の局所的な放射によりダイバータ熱流束を低減することができること、MARFE(Multifaceted Asymmetric Radiation From the Edge; 主プラズマ回りでの局所的放射冷却が究生し、ダイバータ作用が損なわれてしまう障害)と似ているが放射位置が移動せずディスラプションを引き起こさないこと、不純物入射により発現することが説明された。Bosman氏(DIFFER)からはAUGとJETにおけるXPR位置のフィードバック制御について報告があった。DT放電でもXPRのダイナミクスは同じであることが示された。Giroud氏(UKAEA)からは、JETにおけるITER-likeな高三角度、垂直ダイバータターゲットの運転で、ネオン注入でELM無し定常状態をDD放電で2秒間維持したこと、高電流シナリオやDT放電でも同様の状態が得られたことが報告された。Horsten氏(KU Leuven)からはSOLPS-ITERとEDGE2D-EIRENEコードにおいて同位体(H, D, T)効果が明瞭に現れないことが報告された。

Edge operational regimes

Faitsch氏(Max Planck IPP)からAUGとJETにおける準連続排気(QCE)運転領域の報告があった。Type-II ELMと呼ばれていた定常なHモードであり、規格化したペデスタル密度においてITERやEU-DEMOの値がカバーされていた。Ding氏(CAS)からEASTのネオンパフ実験において、near-SOLではスパッタリング率がアルゴンパフより抑制されたとの報告があった。Casali氏(Univ. Tennessee-Knoxville)からはDIII-Dで負三角度における高放射を達成した報告があった。Cavedon氏(Univ. Milano-Bicocca)からセパトロリクスにおけるイオン・電子温度比についてTCVとAUGの実験が報告された。温度比の傾向に装置間で相違はなく、イオンと電子の熱流束比が支配的な要因であった。Lomanowski氏(ORNL)から2点モデルに基づいたセパトロリクス密度のスケーリングの報告があり、外側ダイバータターゲットにおける電子温度からセパトロリクス密度が推定された。

Power Exhaust

Reimold氏(Max Planck IPP)から、W7-Xにおける不純物注入による安定なデタッチ実現と、放射パワーおよび中性粒子圧力のスケーリングが報告された。圧力損

失の支配的な要因、bi-normal方向の輸送の考慮がトカマクと異なり重要であること、高リサイクリング領域ではないことが言及された。Eich氏(Commonwealth Fusion Systems)からはSPARCでのパワー排気の検討が報告された。(岡本)

Turbulence & Transport simulations in the edge

Tamain氏(CEA)から磁場核融合装置における熱・粒子排気の数値モデリングの現状とその展望に関するレビュー講演がなされた。次に、Zamperini氏(GA)からDIII-DのSOL領域における乱流による不純物輸送モデリングに関する招待講演、Eder氏(Max Planck IPP)からデタッチ状態におけるプラズマを流体として取り扱う乱流モデルに関する講演があった。そして、Xu氏(LLNL)からトカマクのSOL領域における揺動伝搬とそれがSOL幅とデタッチメントに及ぼす影響に関する招待講演があった。

Impurity sources and transport

本セッションでは、Xu氏(CAS)からEASTの周辺プラズマにおける不純物輸送の理解の進展に関する講演、Abrams氏(GA)からDIII-Dにおけるタングステン被覆スロットダイバータ配位での不純物輸送と熱除去の物理的理解の進展に関する報告、Ciraolo氏(CEA)からWESTにおけるERO2.0コードを用いたタングステンの移送シミュレーション解析とその実験結果との比較に関する報告があった。ERO2.0コードとSOLEAGEコードを用いてアンテナリミター近傍の周辺プラズマ中のタングステン密度分布の計算結果が報告された。そして、Romazanov氏(FZJ)からW7-XにおけるERO2.0コードを用いた炭素13の大域的移送モデリングに関する報告がなされた。炭素13の堆積量とその分布の計算結果を計測結果と比較することによって、複雑な3次元配位におけるERO2.0コードの妥当性を検証した結果が報告された。炭素13の入射位置から離れた場所の両者の炭素堆積量は概ね一致する一方、その分布は必ずしも一致しないことが示された。

Diagnostics

Glasser氏(Aix-Marseille Univ.)からトカマク装置の熱除去予測のための周辺プラズマ診断のためのデジタルツイン構築に関する報告があった。各種プラズマ診断装置によって得られた結果を合成することでバーチャル空間上にトカマク装置(TWINTOK)を作ることによって、プラズマの挙動と計測結果の理解をさらに深められる可能性が示された。Duval氏(SPC/EPFL)からTCVにおけるデタッチに至るまでの電子・イオン分布の動的な変化に関する報告、Kriete氏(Auburn Univ.)からW7-Xにおけるダイバータ部の不純物イオンの温度分布計測に関する報告がなされた。不純物の分光画像から不純物イオンの温度分布を計測する新しい手法をW7-Xのダイバータ領域に用いた結果、2価の炭素イオンの温度が15~25

eV程度であり、それはプラズマの平均密度とともに低下することが示された。Silvagni氏（Max Planck IPP）からはJET, AUG, C-MODのHモードプラズマにおけるセパトトリックス部の電子密度の計測結果に関する報告があり、それらと工学的パラメータとの関連性について報

告がなされた。さらに、各装置でこれまでに蓄積されたHモードのデータベースを解析した結果が紹介された。

（庄司）

（原稿受付：2024年8月1日）

