
 インフォメーション

■会議報告
The Joint Conference of XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) and the 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10)

九州大学 白谷正治

ICPIG と ICRP の合同国際会議 XXXIV ICPIG & ICRP-10 が、2019 年 7 月 14 日～7 月 19 日に札幌市教育文化会館で開催されました。ICRP は応用物理学会主催の反応性プラズマに力点をおく国際会議であり、毎年開催している国内会議『プラズマプロセッシング研究会 Symposium on Plasma Processing (SPP)』を 3-4 年に一度、国際会議化して実施しています。これまでに、単独開催の他、GEC や ESCANPIG などと合同開催を行い、日本の世界的プレゼンス向上に大きく貢献してきました。現在では、日本が主催する主要な低温プラズマの国際会議として世界で認知されています。一方、ICPIG は 1953 年に第 1 回を開催したプラズマの基礎と応用に関する最も伝統ある国際会議であり、隔年で開催されてきています。IUPAP が支援するプラズマの国際会議の一つでもあります。ICPIG を日本で開催するのは、2001 年の名古屋以来 19 年ぶり 2 回目でした。今回の ICPIG は、史上初の試みとして他の国際会議 (ICRP-10) との合同開催となりました。

この国際会議では、Award Lecture 3 件、General Lecture 6 件、Topical Lecture 47 件、Arrange Session 8 件、一般口頭講演 90 件、ポスター講演 320 件、さらに 4 つの Satellite Workshop の講演が合計 42 件、以上の総計 516 件の発表がありました。プログラムは、ホームページ上で (<http://ICPIG2019.qe.eng.hokudai.ac.jp/>) 閲覧・ダウンロードできます。また、特集号論文が Plasma Sources Science and Technology (PSST) と Japanese Journal of Applied Physics (JJAP) に発行予定です。世界 38 ヶ国から一般 350 名、学生 165 名、同伴者 28 名の総計 519 名が参加しました。なお前回、ポルトガル開催の ICPIG2017 では、講演総数 416 件、36 ヶ国から参加者数 387 名でした。多くの参加者から講演・議論の質に関して特に高い評価を頂きました。参加者数、講演・議論の質、サッポロビール園で盛り上がったバンケット、会計などの全ての面において、今回の合同会議は高いレベルで成功であったと総評でき

ます。

以下に、私が印象に残った点を少し述べます。低温プラズマの生成・制御においては、放電電圧波形を任意波形制御する研究がヨーロッパを中心に進展しています。過去に電極に流入するイオンの速度分布を制御する目的で、任意波形電圧印加が提案されましたが、産業界では任意波形ではなく複雑なパルス電圧印加が実用化されています。一方、基礎研究とプロセスへの適用が進んでいる最近の任意波形制御は、電子のエネルギー分布関数とイオンの速度分布を制御することを目的としています。任意波形電圧を上手く電極間に印加するための、マッチングネットワークの開発も行われており、手詰まり感があつた低温プラズマの生成・制御に新展開をもたらしつつあります。

液面へのプラズマ照射に関する研究においては、液面近傍の 200-2000nm 程度深さの液中において、プラズマ照射に起因する化学種の急峻な濃度勾配が存在し特徴的な化学反応が生じることが複数の研究者より指摘されました。プラズマ照射により液面が変形することも多い領域ですが、今後は精緻な計測とシミュレーションの比較を目指して研究が進展すると期待されます。

プラズマのライフサイエンス応用においては、バイオエタノールの高収率化を目指す研究や、プラズマ照射溶液を用いた医療・農業応用に進展が見られました。同時に様々な効能が得られる機序を解明する研究も進展しています。例えば、種子内で発芽の抑制と促進にかかわる植物ホルモン量が、3 分間のプラズマ照射で激変することが報告されました。既知の環境ストレスなどによる変化には数日から半年かかることと比較すると、プラズマ照射が植物の成長に劇的な影響を有することがわかります。

今回の会議では、基礎と応用の両面で熱プラズマおよび低温プラズマが発展していることが明らかになりました。低圧のプロセスプラズマは、新しい材料・デバイスの発展を支えるために重要ですが、日本の大学では研究者数が減少傾向にあります。研究コスト (論文 1 報当たりの研究費・研究時間) が高いことが一因だと思われます。日本の将来を考えると、低圧プロセスプラズマの研究に多くの若い研究者が積極的に携わることが強く望まれます。

今回の会議の成功を背景に、白谷が日本人として初め



て ICPIG の International Scientific Committee Chair (任期 2 年) に選出されました。次回の ICPIG を 2021 年 7 月 11 日～7 月 16 日に、オランダのリゾートビーチである Egmond aan Zee で開催する準備を進めています。日本から ICPIG2021 に出席・講演する学生に財政支援することも検討中です。積極的な投稿とご支援をお願い申し上げます。一方、ICRP-11 については、東北大学の金子俊郎先生を中心に 2022 年に仙台で開催することを応用物理学学会プラズマエレクトロニクス分科会で検討中です。

最後になりましたが、現地実行委員長を務められた北海道大学の佐々木浩一先生を初めとする現地実行委員の皆様には大変お世話になりました。ICPIG と ICRP の初めての合同国際会議開催という大役を成功裏に終えられましたことに、組織委員・会議参加者を代表して深く御礼を申し上げます。

(原稿受付：2019 年 9 月 24 日)

■会議報告

14th International Symposium on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-14)

核融合科学研究所 宮澤順一

ハンガリーの首都ブダペスト、美しく青きドナウのほとりにて 2019 年 9 月 22～27 日の日程で開催された第 14 回核融合技術国際シンポジウム (ISFNT-14) に参加してきた。有名なセーチェニ鎖橋やブダ王宮、ドナウの真珠と称される国会議事堂をはじめ、ダン・ブラウンの最近のベストセラー「オリジン」にも出てくるヨーロッパ最大のシナゴグ (図 1) や廃墟バー、さらには数多くの温泉があり、沢山の観光客で賑わっていた。会期前半は曇りがちだった天気も後半にかけてすっきりと晴れ、冷涼な東欧の空気を満喫できた。

本シンポジウムは核融合に関連する工学技術に関する最新の動向や研究開発成果が議論される世界最大級の会議で、2 年毎に開催されている。今回は Bridging Science and Technology をモットーとして、4 件のキーノート、7 件のプレナリー (内、日本から 2 件)、招待講演を含む 67 件の口頭発表 (内、日本から 10 件)、392 件のポスター発表に加え、「民間企業による核融合研究」と

して設けられた最終セッションで 2 件の特別講演があった。参加者数は全部で 531 名、参加国数は 28 カ国とほぼ例年通り。発表件数は、日本が 79 件で 1 位、次いでドイツとイタリアがそれぞれ 75 件、中国が 64 件 (申し込み件数は中国が 124 件で最大)、韓国が 35 件、スペインが 30 件、イギリスが 28 件、開催国ハンガリーが 26 件、フランスが 19 件、アメリカが 17 件、ロシアが 15 件、その他は 10 件以下という順であった。京都で開催された 2 年前の ISFNT-13 に引き続き、日本の核融合炉工学分野が如何に活発であるかを世界にアピールできたと思う。会議は、9 時からのキーノートあるいはプレナリー 2～3 件の後、午後にかけて 3 本パラレルの口頭発表、夕方頃に 2 時間のポスターセッション、という流れを基本に進められた。

ここ数年の核融合関連国際会議で恒例となっている B. Bigot 機構長による ITER 進展状況報告では、建設は順調に進展しており、2025 年 12 月のファーストプラズマまでの進捗度は 65% とのことであった。但し、今後世界中から集まってくる millions of components を如何にして組み立てるか、課題はまだ多い。

A. Donné 博士 (EUROfusion) により示された EU の核融合開発ロードマップは数年前からほぼ変わらない印象だが、次の 10 年で構造材料への核融合中性子照射試験装置 DONES をスペインのグラナダに建設する、2020 年に JET で DT 核融合出力 15 MW を 5 秒程度持続する、ダイバータ試験装置 DTT をイタリアに建設する、COMPASS-U で液体金属ダイバータの実験を行う、などといった計画は核融合コミュニティを大いに活性化するものであり、ぜひ実現してほしいと願う。

M. Abdou 教授 (UCLA) のキーノート講演は、40 年の核融合研究から学ぶことと今後の核融合理工学研究の方向性についてという題目で、大変面白かった。70 年代には 90 年代に DEMO と考えていたが現在では 40 年後とか、ステラレータは一度諦めたのに現在では W7-X があるとか (LHD にも触れて欲しかった…)、あるいは炉設計における装置サイズや β 、最大磁場強度が如何に変遷してきたかという話に加え、RAMI (信頼性、可用性、保守性、検査性の略) の重要性と (DEMO における可用性の低さたるや!)、アメリカで 1984 年に提案された小型 R&D 用核融合炉 FNSF (Fusion Nuclear Science Facility) の必要性を説かれていた。小型の核融合炉あるいは中性子源が必



図 1 ドハーニ街シナゴグにある「生命の木」にて (QST 坂本宜照博士撮影)。葉の一枚一枚に、第二次世界大戦下で起こったユダヤ人ホロコーストの犠牲者の名が刻まれている。手前は献花台ならぬ献石台。

要だという方向性は、今回の ISFNT でも特に取り上げられたアメリカの ARC/SPARC (高温超伝導マグネットと熔融塩 FLiBe ブランケットの採用は筆者らが進めているヘリカル核融合炉 FFHR シリーズと共通)、あるいはコンパクト FRC 炉といった最近の民間企業による核融合炉の提案、中国の HINEG シリーズや Gas Dynamic Trap 型中性子源の提案、さらには筆者が招待講演で発表したヘリカル炉設計グループによるヘリカル体積中性子源 HEVNS の提案にも共通するものであり、今後さらに盛り上がっていくだろうと予想する。

M. Siccino 博士 (EUROfusion) が行った DEMO におけるプラズマの諸問題に関するプレナリーは、炉工学の研究者には少し衝撃的だったかも知れない。コアプラズマからの大きな輻射損失、saw-tooth, NTM, 及び ELM の制御などを例に挙げ、幾つかの点では ITER で得られる解が必ずしも DEMO に適用できないことが率直に述べられた。ELM 制御に関連し、菊池満教授 (阪大) の提唱する負三角度の話も出てきた。突発的な再アタッチメントが起これば、3秒で burn-out から LOCA (冷却水喪失事故) に至る可能性も示された。質疑の際には筆者からも、DEMO の厳しい環境ではデタッチメントの計測及び制御が難しいこと、電流駆動とディスラプションも困難な課題であることを指摘させてもらった。

その他、全体的に ITER-TBM に関する発表が多かった印象がある。高温超伝導、金属 3D プリント、液体金属

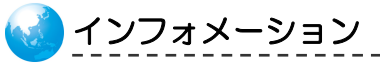


図 2 バンケットにおける Miya-Abdou Award 授賞式。今回は静岡大の近田講師が受賞した。

ダイバータなどは筆者の好きなジャンルだが、今回の会議では発表や質疑でちらほら耳にした程度で、まだ大きなトレンドにはなっていない。今後これらがどう伸びるか楽しみである。

26日の晩にブダ王宮直下のレストランで行われたバンケットにおいて、若手研究者賞である Miya-Abdou Award を静岡大の近田拓未講師が受賞され、日本人一同大いに盛り上がった (図 2)。27日昼前に closing session があり、2年後の次回 ISFNT-15 は中国・合肥で開催されることが発表されて ISFNT-14 の幕は閉じられた。

(原稿受付：2019年10月3日)



■会議報告

第一壁・周辺プラズマ・ダイバータ理工学合同シンポジウム

核融合科学研究所 増崎 貴

核融合プラズマ領域および核融合炉工学領域は、領域間を横断する研究課題についての意見交換および相互理解を深めるため、2019年9月9日～10日、つくばイノベーションプラザにおいて、筑波大学プラズマ研究センターと合同で、「第一壁・周辺プラズマ・ダイバータ理工学合同シンポジウム」を開催した。2日間で延べ100人以上が参加した。

本シンポジウムでは、①ダイバータ研究開発加速戦略方策検討評価ワーキンググループ (WG) 報告、②ITPA周辺プラズマ (SOL)・ダイバータトピカルグループ (TG) 会合報告、③国内外の最新研究成果、④アクションプランの状況と先進ダイバータについて、⑤IEA/プラズマ・壁相互作用 (PWI) 協定に基づく国際共同研究の現状、⑥ダイバータ級装置の検討状況、⑦筑波大学プラズマ研究センターにおける最近の研究成果、の7カテゴリについて報告・発表が行われた。以下にそれぞれの概要を紹介する。

①ダイバータ研究開発加速戦略方策検討評価WG報告では上田 (阪大) から、同WGでまとめられた、原型炉に適用できるダイバータを実現するために解決すべき重要課題と研究方針をまとめた提案書の内容が報告された。特に、原型炉ダイバータへの許容熱負荷の検討が行われ、タングステン再結晶化を防止する観点から約10 MW/m²の熱負荷が限界であること、原型炉における熱排出制御目標と稼働中の装置やITERの運転条件の間には大きなギャップがあること、が報告された。

②ITPA SOL・ダイバータTG会合報告では、7月にドイツのガルヒンで開催された会合の内容が報告された。小林 (核融合研) が、トカマクにおけるELM制御のために印加される三次元磁場の効果に関して、徳沢 (核融合研) が、セパトトリクスすぐ外側のSOLの更に外側に形成される第二SOLプラズマに関して、時谷 (核融合研) がITERの第二期ダイバータ計画に関してITERのスケジュールや各国における材料開発等について、仲野 (量研機構) がデタッチメント制御に関する最近の研究結果、およびSOL・ダイバータプラズマやPWIに関するITER R&Dについて、増崎 (核融合研) がプラズマ対向壁中の水素輸送やタングステンダイバータの損傷に関するモデリング・シミュレーション、またそれらに關係する最近の実験結果・分析結果について、それぞれ報告した。

③国内外の最新研究成果では、時谷が核融合研におけるタングステンダイバータ開発の進展について、特にタングステンと銅合金、銅合金同士の新しいう付け接合について報告した。檜木 (京大) から、今年度から始まった新たな日米協力事業であるFRONTIER計画が紹介された。同計画は、プラズマ対向材料/構造材料界面の反応ダ

イナミクスと中性子照射効果を明らかにするものである。河村 (量研機構) は日本における、ITERの水冷却固体増殖テストブランケットシステム開発の現況について報告した。筐体の最適形状検討が実施され、従来の箱形筐体から円筒型筐体に設計が変更された。テストブランケットモジュール1号機 (電磁力モジュール) は、2029年6月ごろまでにITERに搬入される予定である。仲野からは、2020年9月から運転を開始するJT-60SAの建設状況と、SOL・ダイバータおよびPWIに関するリサーチプランが紹介された。初期のプラズマ対向機器構造、電子サイクロトロン加熱放電による壁コンディショニングについても紹介された。江角 (筑波大) からはGAMMA 10/PDXにおけるデタッチメント実験研究の現況が報告された。特に、水素ガスと窒素ガスを重畳入射することにより、水素ガス単独やキセノンなど他のガスの入射に比べて、より効率的に非接触プラズマを形成できたことが報告された。

④アクションプランの状況と先進ダイバータについては、文科省学術調査官を務める徳沢から、ダイバータに関するアクションプランの説明と第一回チェックアンドレビューに向けた課題などについて、朝倉 (量研機構) から、ダイバータ物理検討WGにおける非接触ダイバータ発生・制御とシミュレーション・モデリング開発に関する検討、および特別設計チームにおける先進ダイバータ磁場配位研究がそれぞれ報告された。

⑤IEA/PWI協定に基づく国際共同研究の現状については、増崎から、核融合研が外国派遣を支援しているPWIに関する国際共同研究が紹介された。来年度派遣の公募が2月から3月に行われる予定である。

⑥ダイバータ級装置の検討状況については、坂本 (筑波大) から、筑波大学プラズマ研究センターで現在建設が進められている新装置 (Pilot GAMMA PDX-SC) の建設状況と今後の計画について報告があった。今年度は同装置で使用する超伝導コイルの製作が進められている。

⑦筑波大学プラズマ研究センターにおける最近の研究成果については、同じく坂本から同センターにおける成果の概要と今後の計画が、吉川、小波蔵 (筑波大)、向井 (核融合研) から、GAMMA 10/PDX装置におけるデュアルパルス・トムソン散乱、ドップラー反射計、イメージングボロメータの開発状況が、それぞれ報告された。飯島 (筑波大) からは同装置における非接触ダイバータ実験成果が、平井、假家 (筑波大) からは同装置のイオンおよび電子加熱に関する研究成果が、それぞれ報告された。

9月8日夜から9日朝にかけて、台風15号が関東地方を直撃して交通機関が影響を受けたため、登壇者を含む参加者の到着が遅れるトラブルはあったが、プログラムを一部組み替えて予定通りシンポジウムを開催できたことは幸いであった。9日夜は、会場近くのダイニングで自家製ビールを頂きながら大いに懇親を深めた。

(原稿受付：2019年9月24日)