

■会議報告

第45回 European Physical Society Conference on Plasma Physics (EPS)

藤井恵介 (京都大学 工学研究科)

畑 昌育 (大阪大学 レーザー科学研究所)

1. 概要

第45回 European Physical Society Conference on Plasma Physics (EPS) は、2018年7月2日から6日まで、チェコ共和国プラハ中心街にあるゾフィン宮殿 (Žofín Palace) および周辺の建物で行われた。ELI Beamlines, Institute of Plasma Physics of the Czech Academy of Science, チェコ工科大学がローカルオーガナイザーとなって本会議を運営していただいた。今回のEPSでの講演件数は、基調講演・招待講演が81件、口頭発表が91件、ポスター発表が717件であり、例年並みの規模で開催された。プログラムのトピックスは、今年も(1)磁場閉じ込め核融合、(2)ビームプラズマと慣性核融合、(3)低温・ダストプラズマ、(4)基礎・天体プラズマの4つのカテゴリーに分けられていた。

初日の午前中は、Alfvén賞の受賞講演で始まり、その後3件の招待講演が行われた。午後は、ポスターセッションで始まった後、4つのカテゴリーでの口頭発表が並行して行われた。

今年のAlfvén賞はオックスフォード大学のTony Bell氏に贈られた。宇宙物理・実験室物理の両分野において、高エネルギー粒子の生成・輸送についての研究を先駆したことが評価された。講演では、1978年に同氏が提案した拡散ショック (diffusive shock) の理論や、2004年に同氏が発表したストリーミング宇宙線とプラズマ不安定性

の関連などの話題を提供した。Innovation賞は、Sheffield Hallam大学のArutun Ehasarian氏に贈られた。Ehasarian氏は、彼が先駆したマグネトロンを用いた高パワースパッタリングによる薄膜作製について講演した。特に、100 μ sパルスによる、3000 $W\text{ cm}^{-2}$ にのぼる高パワーでのスパッタリング技術の開発および産業応用について講演した。また、PPCF Dendy Europe-Asia Pacific賞は、量子科学技術研究開発機構の浦野氏、英国CCFEのMaggi氏、韓国Daegu大学のOhjin Kwon氏、英国CCFEのSamuli Saarelma氏に贈られ、それに対応する講演が開催された。

また統計・機械学習への関心の高まりも会議全体を通して感じられるものであった。初日のプレナリーセッションではBetti氏によって、レーザー爆縮プラズマにおけるシミュレーションモデルと実験との差異を統計的手法によってモデル化するという話題が提供された。サムスン電子のPark氏によって、プラズマプロセスの効率を最大化するため、サムスン電子でどのように機械学習手法が用いられているかも紹介されたほか、Vinko氏によるベイズ統計のチュートリアル的な招待講演も行われた。

会議初日には Mánes Terrace という近くのレストランでウェルカムレセプションが行われた。Manes TerraceはVltava川を望む屋外のテラスでありモダンな造りの建物で、リラックスできる雰囲気の会場であった。一方で講演の会場となった Žofín Palace や、4日目のカンファレンスディナーの会場となったRudolfinumと呼ばれる音楽公会堂はネオルネッサンス様式の重厚な建物で、内部も趣向を凝らした非常に豪華な造りであった。大学や研究所とは大きく雰囲気の異なる素晴らしい建物で、学術的な議論ができるというのは非常に貴重な経験であった。

またポスターセッションの会場には、VR (仮想現実) ヘッドギアが設置されていることも特徴であった。ヘッドギアを装着することで、ELI Beamlinesの装置内部を仮想的に行き来出来るだけでなく、本来なら見ることのできない実験装置内からの視点が体験できるなど、新鮮なアトラクションであった。筆者はここで初めてVR装置を体験したが、頭の向きに追従して非常になめらかに視点が変化することに驚き、仮想世界に没頭してしまった。



プレナリーセッションなどが行われた Žofín Palace の大ホール。



ポスター会場に設置されたVR装置とそれを体験する参加者の様子。

ヘッドギアを装着している間は本人からは外（現実）の様子はわからないが、あちこち見回していたりして、不審な動きをしていたに違いない。こういった演出も含め、ローカルオーガナイザーが趣向を凝らして会議イベントを運営していることへの感じられる素晴らしいものであった。たくさんの時間と労力を費やしていただいたことは間違いない。ここに感謝の意を表したい。

会議期間中の天候は非常によく、気温も 25 - 30℃程度と非常に過ごしやすかったのである。チェコは物価もそう高くないため、会議の後には名産のビールやチェコ料理を心置きなく堪能できることも特徴であった。会場の周りにはレストランやカフェも多く、昼休みなど、知り合いたちと談笑している研究者のグループもよく目にした。こういった大きな会議は、共同研究者や旧友たちなど、世代を超えた交流ができる非常にいい機会であると感じた。今後とも積極的に参加し、ネットワークを構築していきたいものである。なお、次回は 2019 年 7 月 8 日-12 日にかけてイタリアのミラノで開催される。

2. 磁場閉じ込め核融合プラズマ

Wendelstein 7-X でのダイバータ実験が始まった後の初めての EPS であったためか、Wendelstein 7-X に関連する内容の講演が目立った。Brezinsek 氏により、ダイバータモードでの Wendelstein 7-X の運転について述べられた他、Wendelstein 7-X でのスケーリング則、高放射ダイバータモードでの運転、トロイダル回転とダイバータ位置との関連、新たに実装された協同トムソン散乱計測などが紹介された。

また、同位体効果に関するセッションも設けられた。仲田氏による理論・実験研究のほか、Maggi 氏、Marin 氏らによる JET での実験・理論研究、Lang 氏らによる ASDEX Upgrade による実験研究など、様々な装置での実験結果が発表された。LHD での重水素実験の開始もあり、国内外での同位体効果についての関心が高まっていることを感じた。

ポスターセッションは、その大多数（全 717 件中 435 件）が磁場閉じ込め核融合プラズマ関連のものであった。内容は多岐に渡るが特に、ニューラルネットワークによる NBI モデルを用いたプラズマの実時間制御や、高速 X 線トモグラフィソルバ、乱流輸送シミュレーションの高度化など、近年発展の目覚ましい機械学習手法を核融合プラズマ研究に取り入れる動きが特徴的であった。

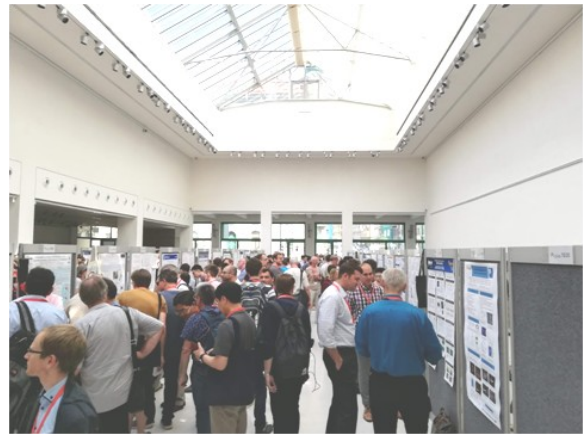
3. ビームプラズマおよび慣性核融合

ビームプラズマおよび慣性核融合 (BPIF: Beam Plasmas & Inertial Fusion) では、2 件のプレナリー講演と 16 件の招待講演、22 件の口頭発表が行われた。また BPIF のポスターセッションでは 144 件のエントリーがあった。日本からの BPIF 関連での発表は、口頭発表 2 件とポスター発表 7 件があった。

プレナリー講演の 1 つである、Rochester 大学の R. Betti 氏による“Progress in inertial confinement fusion via lasers: how close to ignition and burn?”では、レーザー核融合に



チェコ名物の豚の膝の料理（vepřové koleno）。非常に大きい。



ポスターセッションの様子。

おける間接照射方式および直接照射方式の研究の進展について報告がなされた。NIF における間接照射方式では、HDC (high-density carbon) アブレーターを採用したターゲットの実験で、核融合イールドが 50 kJ を超え、イールド増幅が 2.5 - 3 倍に達し、燃焼プラズマの状態に到達しつつあることが報告された。OMEGA にて行われている直接照射方式のレーザー核融合では、データ駆動型の統計的手法に基づいた新しい予測から得られたターゲットデザインによって、この 1 年で核融合出力が 3 倍になったことが報告された。さらに、直接照射方式で、NIF クラスの 1.9 MJ のレーザーで対称照射を行った場合には、300 kJ の核融合イールドが出る予測が示された。

もう 1 つのプレナリー講演である、ENSTA-CNRS-Ecole Polytechnique の J. Faure 氏による“Laser driven electron acceleration with high repetition rate lasers: from plasma physics to condensed matter applications”では、高繰り返しレーザーによる航跡場加速の今後の展望およびその応用についての報告があった。固体の構造ダイナミクスを調べるためのツールとしての利用が提案され、そのために 1 - 100 kHz の電子パルスや 30 kHz の X 線が必要であることが述べられた。プラズマを使うことのメ

リットは、ジッターのないフェムト秒のバンチが得られることである。最初の kHz 航跡場加速実験を行い、5 MeV, fs 幅, ~ 20 pC の電子パルスを作ることができたと報告があった。さらに、超高速電子回折への適用も実証された。今後の展望としては、100 mJ 級の数十 fs のレーザーパルスが商業的に利用可能となり、電子のエネルギー利得は 20–40 MeV に達し、X 線発生に採用される見通しであるとのことである。次の 5 年間で大きな進展があると期待され、原理実証実験を行わないか？という一文で講演が締めくくられた。

日本からは、大阪大学の岩田氏から“Plasma density limits of laser hole boring and superthermal electron generation by relativistic picosecond lasers”という題目で口頭発表があり、従来のホールボーリングの理論では止まることのなかったホールボーリングプロセスが、圧力バランスの式に、電子がイオンよりも先に押し込まれることによって生じる静電ポテンシャルの項を導入することで、止まることが示された。加えて、シミュレーション研究から、ホールボーリングの停止によってホールボーリングモードから噴き出しモードへと状態が遷移し、粒子の加速のされ方が大きく変わることが示された。この現象はピコ秒オーダーで発現するもので、フェムト秒スケールとピコ秒スケールとではレーザープラズマの物理が劇的に変化することを端的に示す成果の 1 つであると理解している。本会議でもそうであったが、近年のレーザー装置の開発や研究の動向は、フェムト秒の超高強度

レーザーが主であり、そのような状況の中で、ピコ秒の物理についての新奇報告があったことは、当該分野に少なからず影響を与えたのではないかと思う。

個人的な印象としては、BPIF のセッションは若手の発表が多く活気があったように感じた。また、ELI Beamlines のあるチェコでの開催であったためか、粒子加速や超高強度場の講演が相当数を占めており、慣性核融合の発表件数は少なかった。

ELI Beamlines では、EPS の会期中である 7 月 2 日(月)に L3-HAPLS レーザーシステムのファーストショットが行われた。L3-HAPLS レーザーシステムは LLNL (Lawrence Livermore National Laboratory) で開発され、ELI Beamlines のメンバーが米国に赴き、協働で作業してチェコに運び、チェコ ELI Beamlines にて再度協働で組み立てたようである。L3-HAPLS レーザーシステムの性能は現時点で 16 J, 27 fs, 3.3 Hz, ~ 0.5 PW のことである。公称値は 30 J, 1 PW, 10 Hz であるのでまずまずの性能ではないかと感じた。ELI Beamlines では今後 L4 レーザーシステムが構築される予定であり、公称値は 2 kJ, 10 PW, 130 fs である。ELI プロジェクトは着々と進行しており、各国の小規模レーザー装置で予備的な実験を並行して進めているようである。ELI プロジェクトでの実験による成果が報告される日はそう遠くないものと思われる。

(原稿受付日：2018 年 7 月 20 日)