



## ■会議報告

### 第42回 European Physical Society Conference on Plasma Physics (EPS)

南 貴司 (京都大)

沼田龍介 (兵庫県立大)

三間罔興 (光産業創成大学院大)

#### 1. 概要

第42回 European Physical Society Conference on Plasma Physics (EPS) は、2015年6月22日から26日までポルトガル、リスボンで行われた。会場となった Centro Cultural de Belém は、リスボンの中心部から数 km ほど離れた郊外にあり美術館やコンサートホールを有するリスボン最大の文化センターである。また Belém は大航海時代にポルトガルからインドへの航路を開拓したヴァスコ・ダ・ガマが発した場所として有名で、会場の前にある世界遺産のジェロニモス修道院にはヴァスコ・ダ・ガマの墓所があり、眼前に美しいテジョ川が広がる景勝地である。今回の EPS は総登録者数740名で基調講演13件、招待講演66件、口頭発表86件、ポスター発表574件の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、(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・天体プラズマの四つのカテゴリーに分けられていた。午前の始まりは基調講演で始まり、その後、招待講演と口頭発表が四つのカテゴリーに分かれてパラレルセッションで行われた。午後はポスターセッションが行われた後に、再び招待講演と口頭発表のパラレルセッションであった。今回の発表者の傾向は、磁場閉じ込めの発表件数が全体の約 2/3 を占めており例年より割合が多かったように思える。会議のトップを飾ったのは2015年の Alfvén Prize を受賞したプリンストン大学の Nathaniel Fisch 氏のレクチャー講演である。Fisch 氏はいまでもなく RF 波によるプラズマ電流駆動の基礎的な理論を構築した研究者として、たいへん有名で私からあらためて紹介する必要もないだろう。受賞講演では自らの理論を実証した研究者として私の恩師でもある田中茂利先生の名前もあげて感謝の言葉を述べられていた。基調講演は幅広いプラズマ分野の研究者が共通のテーマに対して議論が行えるように工夫した話題が今年も選ばれていた。どの基調講演も他分野の研究者が興味をもち容易に理解できるように構成されており、プラズマ物理研究者として、他では味わえないような楽しい至福の時間であった。今回の EPS 会議のハイライトは、新しく ITER 機構の Director General に就任された B. Bigot 氏が来られたことであろう。Bigot 氏は ITER 機構の新しい運営方針や ITER の最新の建設状況、また物理に関する課題について講演された。ITER プロジェクトが現在直面している問題を的確に説明され、また会場からの質問

にも真摯かつ丁寧に答えられた。新しい機構長に対する会場の反応は非常に好意的で、これからの活躍に対する期待が大きかったように思える。ところで残念だったことは例年に比べて日本人の参加者が少なかったことである。日本人による招待講演と口頭発表は数件しかなく、さびしかった。一方、アジアでは中国、韓国の参加者が近年増加傾向にあり招待講演、口頭発表件数も増えている。その分さらに日本の存在感が薄れてしまったように思える。来年は多くの日本人研究者が、この素晴らしい会議に参加されることを願ってやまない。(南 貴司)

#### 2. 磁場閉じ込め核融合プラズマ

今回の本カテゴリーのハイライトは I. Nunes 氏による JET の ITER like wall (ILW) 実験に成果報告であった。ITER で計画されている壁、ダイバータ板と同じ材料である第一壁としてベリリウム (Be) 材、ダイバータとしてタングステン (W) 材を JET 装置に装備し、その優れた低燃料リテンション性能を確認するとともに高閉じ込めプラズマへの影響を調べるのが本研究の目的である。報告では従来の炭素壁に比べて ILW では閉じ込め時間が約 60-70% 程度 ( $J_p > 2.5$  MA) であるという問題点が指摘された。その原因は H-mode 時のペDESTAL 領域の温度が Be/W 材の場合は炭素材と比べて低いことである。窒素シーディングによってペDESTAL の密度を保ちつつ温度をあげることが可能であることが明らかになったが、現状では炭素壁と同等のプラズマ性能には達していない。この結果は ITER のプラズマ性能に大きな影響を与えると考えられるため精力的に活発な議論がかわされた。ILW の問題点が H-mode 形成時のペDESTAL であることや、やはり ITER 計画で重要な問題である ELM 制御の問題解決のため、今回も周辺輸送障壁と ELM に関する研究が非常に多かった。トカマクコミュニティーは全力を投入して H-mode の性能向上に取り組んでいるようである。特に今回はペDESTAL のフローや電場シアに注目するだけでなく、ペDESTAL 中の乱流構造がペDESTAL の形成に、いかなる影響を与えるのかという問題点に注目した研究発表が目立った。DIII-D の S. Mordjick 氏は、H-mode に対して RMP を作用させた時の粒子輸送の増加を Rotation braking による E×B シアの減少による揺動の増加、さらにそれによる分布の変化を原因とする成長率の変化に結びつけて明確に説明していた。またプラズマ輸送に対する同位体効果に関しても、精力的に調べられていて、ASDEX Upgrade の P. Hennequin 氏はドップラー反射計による乱流揺動計測からトカマクプラズマ中の乱流揺動には短い相関長と長い相関長をもつものがあり同位体効果を調べたところ短い相関長をもつものは、ジャイロボーム的な性質があり、長い相関長をもつものは軽水素と重水素では違いがないと報告した。F. Ryter 氏は L-H

遷移においてはイオン熱流速が鍵となる役割を果たしている、重水素に比べて軽水素の遷移のためのパワー閾値が高いのはイオン熱流速が大きいことから説明できることを示していた。今回はアジアの実験装置、中国や韓国から多くの発表があり印象的であった。特に中国の EAST 装置の B.N. Wan 氏の発表では、低域混成波電流駆動による ELMs 緩和実験やリチウムエアロゾル入射実験による ELM が無い又は小さい H-mode の実現など、アメリカ勢やヨーロッパ勢とは異なるアプローチで問題に取り組んでいて興味深かった。一方、ヘリカルプラズマに関する発表は全体的に少なかった。その中でも、TJ-II 装置の F. Castejon 氏は TJ-II 装置の磁気井戸の閉じ込めに対する効果を詳細に調べた結果を報告した。TJ-II 装置においても WS-7AS 装置や LHD 装置の実験結果と同様に Mercier 不安定な領域でも安定なプラズマを生成することが可能であり磁気井戸の減少が閉じ込め特性に与える影響は観測されていない。HIBP による揺動計測から磁気井戸減少時の揺動レベルの増加と非対称なフラックスの生成は自己組織化機構の存在を示しているということであった。ヘリカルプラズマ研究者として発表数が少なかったのは残念だが WS-7X のファーストプラズマが、いよいよ2015年8月24日に予定されているという報告があり、ヘリカルプラズマ研究においても新しい時代の到来が期待されるだろう。(南 貴司)

### 3. ビームプラズマと慣性核融合

レーザー生成プラズマならびに慣性核融合プラズマ (BPIF: Beam Plasma and Inertial Fusion) 関連で、3件のプレナリー講演:「レーザープラズマ相互作用と衝撃点火」(V. Tikhonchuk 氏, ボルドー大学), 「レーザープラズマ加速研究の発展と挑戦」(S.M. Hooker 氏, オックスフォード大学), ならびに, 「天体プラズマにおける粒子加速と磁場生成」(A. Spitkovsky 氏, プリンストン大学)があった。さらに, 今年度の Alfvén Prize 受賞者である N. Fisch 氏による講演で, レーザープラズマ誘導ラマン散乱によるパルス圧縮に関する話題が取り上げられた。分野別講演では, 4つのパラレルセッションのうちの一つが BPIF (ビームプラズマと慣性核融合) で, 5日間にわたる7セッションで15件の招待講演と25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約100件の発表があった。残念ながら, 今年は日本から BPIF 関連でのプレナリー講演と招待講演はなく, 口頭発表2件のみであった。レーザー核融合の最先端: NIF による点火実験の最近の動向について, ローレンスリバモア研究所の M. Rosen 氏から報告があった。高いレーザー強度で立ち上げる爆縮 (High Foot Implosion) で高い中性子発生に成功し, 間接照射爆縮物理の理解が急速に進んでいる。現在, シミュレーションによる実験結果の再現に成功し, 高密度カーボン燃料球の導入, ラグビー形状のホールラオムや低密度ガス封入のホールラオムの導入等により, 多様な点火実験が進みつつあり, 点火実現へ向け急速に研究が展開すると期待される。レーザー核融合に関するもう一つの話として, プレナリー講演で衝撃波による点火研究の現状が報告された。

300 Mbar の求心衝撃波をレーザーアブレーションで発生し, 球状収縮により中心に反射衝撃波で約100倍: 30 Gbar の圧力を発生することが目標である。現在, 300 Mbar のアブレーション圧力が強度  $10^{16}$  W/cm<sup>2</sup> の紫外線レーザーで発生することに成功している。高強度のレーザーがスケールの大きいコロナプラズマ (スケール長: 1 mm 前後) と相互作用し, 異常吸収により発生する 50 keV 前後の高エネルギー電子が作り出すアブレーション圧力が研究対象である。誘導ラマン散乱や Two Plasmon Decay によるレーザー吸収/高エネルギー電子の発生と高密度領域へのエネルギー輸送につき, 理論と実験による研究が進んでいる。とくに, ロチェスター大学で 20~25 kJ の紫外レーザーを球状ターゲットに照射し 300 Mbar の圧力の発生に成功したことは特筆にあたる。衝撃波点火はヨーロッパでも急速に研究の輪が広がっている。一方, 高速点火については, ボルドー大学のレーザープラズマ研究グループや大阪大学レーザー研による高エネルギー電子輸送の磁場ガイドが目ざされている。レーザー粒子加速, レーザー宇宙物理, レーザーによる超高压物性等についても, 最近の色々なトピックスがプレナリーや招待講演で紹介された。レーザー電子加速では, 米国ローレンスバークレー研究所で 4.2 GeV の加速に成功したことが注目された。また, 関連してウエック場中からのシンクロトロン放射による X 線発生とその応用が目ざされる。さらに, レーザープラズマ中の無衝突衝撃波の研究と, それによるイオン加速とその応用や宇宙線の加速機構の物理研究も注目されている。高速度プラズマ衝突によるレーザー生成無衝突衝撃波の研究が米国やわが国で進んでいるが, まだ衝撃波前面でのイオンの反射による加速は実験的に観測されておらず, 今後の衝突実験による実証を期待したい。以上のように, BPIF 分野では多様な研究が新展開をみせており, 今後のヨーロッパ物理学会講演のさらなる充実を期待したい。(三間 絜興)

### 4. 基礎・天体プラズマ

基礎・天体プラズマ (BAP) のカテゴリーからは, 約80件発表があった。今回は特に無衝突衝撃波やそれによる粒子加速, 磁場生成の理論・シミュレーションについての講演が多かった印象である。多くは会議の運営を行っていた現地リスボンの IPFN (Institute of Plasma and Nuclear Fusion) のグループからの発表であり, 当グループが米国 UCLA と共同で開発している PIC コード OSIRIS を用いている関係であろうと思われる。関連する基調講演として A. Spitkovsky 氏 (プリンストン大学) が「天体プラズマにおける粒子加速と磁場生成」について講演を行った。講演では天体プラズマにおける非熱的な (高エネルギー) 粒子の存在とそれによるシンクロトロン放射などが, 超新星残骸やジェットなどにおける無衝突衝撃波と関連していることを紹介した後, 無衝突衝撃波の物理機構の説明があった。そこでは, 衝撃波自身と電磁乱流, 粒子加速が相互に関連する多階層系をなしていることが強調された。運動論シミュレーションによって, Alfvén マッハ数の逆数で表される magnetization と衝撃波に対する磁場の傾きが衝撃波

の構造をコントロールすること、エネルギーにして10%程度のイオンがベキ則に従う非熱的分布を形成すること、Weibel不安定による磁場の増幅機構などが示された。他にBAP カテゴリーからの基調講演として、大村善治氏(京都大学)がホイスターモードコーラスの観測とその生成機構についての講演を行った。ホイスターモードコーラスとはホイスター波の変調現象で、講演では衛星によって観測された様々なパターンの電磁波を音に変換したコーラスが再生された。鳥がさえずる音のような大変印象深いものであった。この現象は、高エネルギー粒子と波が相互作用することによって発生することが説明された。運動論的シミュレーションによって、粒子が波にトラップされ電子ホールが形成されるときに上昇調の変調が起こることが明らかにされた。質疑応答時にはフロアから、核融合プラズマにおいても周波数 chirping という類似の現象があり、理論が発展していることが指摘された。Alfvén Prize の Fisch 氏の講演と並んで、粒子-波動相互作用を本会議の一つの焦点にしようという意図が感じられた。N. Loureiro 氏

(IPFN) の基調講演では、磁気リコネクションにおけるプラズモイドの効果についての解説があった。磁気リコネクションにおいては、前記2つのテーマと同様、運動論効果が重要な役割を果たすが、本講演では打って変わって、電磁流体力学(MHD)モデルの範疇で高速磁気リコネクションが起こりうることを説明した。MHDモデルでは磁気リコネクションを媒介する物理機構は電気抵抗のみであるが、粒子間衝突による電気抵抗の強さを表す Lundquist 数が大きい領域では、電流シート構造が不安定になりプラズモイド構造が形成される。さらに、フラクタルな電流シートが存在するというモデルを採用することによって、安定に存在する最小の電流シートが不安定性の閾値となる臨界 Lundquist 数(電流シートの長さに依存する)によって決まり、そのため磁気リコネクション率は臨界 Lundquist 数によって規定される、すわなち巨視的な Lundquist 数によらないことになることを説明した。

(沼田龍介)



会場のポルトガル・リスボンの Centro Cultural de Belém.



京都大学生存圏研究所大村善治氏による基調講演。