



■会議報告

38th European Physical Society Conference on Plasma Physics

成嶋吉朗 (核融合科学研究所)  
 白神宏之 (大阪大学)  
 榊田 創 (産業技術総合研究所)  
 藤井恵介 (京都大学)

2011年6月27日から7月1日までフランス・ストラスブール市において、欧州物理学会のプラズマ物理分科会が開催された。ストラスブールは、EU議会、人権裁判所等が所在するため、重要な都市の一つとして位置づけられているとともに、ライン川の左岸に位置しイル川に囲まれた旧市街は世界遺産として登録されている。街中はトラムが走っており整備された環境である。ドイツとの国境に位置しているため領土争いが過去に頻繁に行われた。このアルザス地方の特産としては白ワインがあげられ、ソーセージとポテトが主な料理である。また、昨年ヨーロッパ最優秀ソムリエコンクールも開かれている。会議全体の発表件数は747件にのぼり、盛会のうちに幕を閉じた。プロシーディングはこちらのURL (<http://ocs.ciemat.es/EPS2011PAP/html/index.html>) から閲覧することができる。オーラルは159件(招待講演71件、一般88件)、ポスターは588件(内ポストデッドライン31件)であった。ITERのヨーロッパ(フランス)での建設が開始されたこともあり、参加者数は維持されているが、プログラム内容からすると、多様性のバランスとしては少し偏りがある傾向は否めず、今後更に幅広い研究分野の発表と底が厚くなることに期待したい。初日に長谷川晃先生と三間園興先生に Hannes Alfvén 賞が授与され、長谷川先生が受賞講演をされた。以下、各報告者の視点で磁場閉じ込め核融合、慣性閉じ込め核融合、プラズマ応用およびプラズマ物理分野におけるトピックスを紹介する。

磁場閉じ込め核融合分野

磁場閉じ込め核融合(MCF)関連の発表件数は450件(内オーラル57件、ポスター393件)であり、全体の発表件数の6割にのぼった。MCF関連の発表内容は、理論、実験、コアプラズマ、周辺プラズマ、プラズマ-壁相互作用、計測器、燃料供給、MHDなど、幅広い研究分野が含まれている。いくつかのトピックスを以下に紹介する。P. Martinによる招待講演“Near and beyond the limits: MHD stability and its active control in magnetized fusion plasmas”では、ITERを見据えたMHD不安定性の研究の現状と今後の見通しについて報告があった。その中で、MHDの安定化や高 $\beta$ に関するトカマクでの研究をはじめ、ステラレータや逆磁場ピンチにおける研究結果が詳しく紹介された。MHD安定性は、磁場強度・3次元構造・自己組織化の「3軸」の各特性が密接に関係しているが、これまでひとつの軸に主眼を置いて研究が進められていると指摘し、トカマク・ステラレータ・逆磁場ピンチそれぞれのコミュニティにおける知見を取り込んで研究を進めることを論じた。これまでのMHD不安定性の理解と能動的制御手法の進展は、ITERにおけるMHD課題の解決をもたらすであろうという見通しを示した。W.A. Cooperによる招待講演“Helical core tokamak MHD equilibrium states”では、平衡計算コードANIMECを用いたトカマク配位の計算において、赤道面から逸脱した磁気軸をinitial guessとすると、ヘリカル構造を持つ平衡解が得られることを示した。この研究の背景には、JETでの“snake”の観測、TCV, MAST, NSTX, DIII-Dでの特定モードの飽和現象、さらにはRFX-modでの準軸対称状態の観測が挙げられる。このHelical core tokamak配位については、ステラレータの安定性研究の知識が活用できることを述べた。この講演では、この研究のきっかけとなったsnakeを初めて論文に示したA. Wellarが聴講しており、会場からは氏への賞賛の拍



会場周辺の町並み



開会式の様子

手が送られた。これまで様々な講演を聴いてきたが、これほどまでほのぼのとした気分になったことはない。F. Watanabe によるポスター発表“Effects of Externally Applied Magnetic Perturbation in a Spherical Tokamak Plasma Produced by ECH on the LATE Device”では、ECH/ECCD トーラスプラズマにおいて、径方向摂動磁場の印加が高エネルギー電子のうち捕捉電子と通過電子に異なった影響をもたらす報告があった。特に、ある垂直磁場領域において、 $n=1$  の摂動磁場印加が捕捉電子を抑制し、通過電子を増大させることでプラズマ電流が約 1 割増加した。その結果として、磁気面の拡大、バルクプラズマの閉じ込め改善をもたらした。これは、径方向摂動磁場の印加によって高エネルギー電子のピッチ角が制御され引き起こされた可能性が示唆される。EPS 会議はその名称が示すように核融合からプラズマ物理に軸足を移しているが、それでもやはり ITER を念頭に置いた核融合研究の勢いはますます盛んであった。最後に、期間中に私が出会ったフランス人は皆親切で、陽気な人たちばかりであった。(成嶋)

#### 慣性閉じ込め核融合分野

会議初日の最初のプレナリー講演で S. Glenzer (LLNL, 米) が「MJ experiments on NIF - on the road to produce a microscopic star in the laboratory」と題して、NIF (National Ignition Facility) での核融合点火燃焼をめざした実験 NIC (National Ignition Campaign) の現状を報告した。コア形状、エントロピー、爆縮速度、ミキシングについてチューニング中、ホーラム輻射温度 300 eV での爆縮によりシェルの  $\rho R = 1.3 \text{ g/cm}^2$  達成、さらに改善中とのこと。ここ最近、毎月のように彼らの実験の進捗を聞く機会があったが、「問題である」と言っていた事項が聞くたびにひとつずつ「解決した、しつとある」に変わっていくことに驚く。レーザービーム間のエネルギー移動による対称性劣化、クライオターゲット表面のダスト、ホーラム入り口のクライオ燃料の着霜、コア形成に至るショックタイミングの不一致、等々このような様々な問題へのアプローチは、もとより実験的に確認が必要として当初から想定されていて、そのステップを踏んでいるところが多いように思われる。確かに全体のスケジュールはやや遅れてはいるが、着実に進展している。彼は当面のスケジュールについて触れなかったが、点火燃焼実現は目前であろう。NOVA/OMEGA の数 10 kJ レベルの実験データから計算機シミュレーションコードにより、ドライバーエネルギーで 2 桁も上の数 MJ の実験を設計し実現させているのは驚くべき精度である。講演では、また NIF で達成されるローソン条件の核融合積は他の方式と比べて高い値であることを主張していた。質疑で、EPS 議長である C. Hidalgo 氏 (スペイン) が、「この進展は我々のコミュニティ全体にとって good news である」とコメントした。

阪大の高速点火 FIREX-1 計画の成果では筆者が、2008 年より本格稼働を開始した LFEX レーザーを用いた高速加熱実験において 2010 年の実験でコーン付きシェル爆縮の加熱による中性子増大を精度良く観測し、2002 年の加熱実験の

結果を追証したと発表した。この検証は長く待たれていたもので、ICF 関係の多くの参加者から歓迎された。コーン物理については M. Wei (GA, 米) が、詳細な計測に基づく物理実験とシミュレーションでプリプラズマとコーン先端物質による高速電子輸送への影響を報告した。高速点火はいまだ加熱機構に関連する物理過程に未解明部分が多く、さらなる研究が必要であるが、Wei らの成果はそれに切り込みつつある。最近のトピックスのひとつとして、ダイヤモンド中の高速電子輸送に結晶構造が影響することが報告された (McKenna, 英)。

Shock Ignition に関して爆縮最終段階での shock ドライブパルスの長スケール長プラズマ相互作用に問題が多いことが報告された (Depierreux, Tikhonchuk, 仏)。MIT の C. Li からは OMEGA でのホーラムの実験でプロトンプローブにより電場分布を議論する報告があり、データの精緻さで目立った。最終日のプレナリー講演で D. Batani (CELIA, 仏) が HiPER 計画の現状を報告したが、ELI 計画の勢いに割を喰っている感があった。AWE の新しいレーザー ORION の計画が紹介された (Danson, 英)。LMJ (仏) からはほとんど話がなかった。高エネルギー密度科学/レーザー宇宙/高強度場科学/粒子加速については 学術展開の可能性や課題整理の話が多く、Bulanov (JAEA, 日) がプレナリー講演でまとめた報告を行った。最近、GeV/nucleon に達しようとするイオン加速の方法として輻射圧加速が話題であり、シース電場加速に代わる新たな加速機構として着目され、実験もなされていることも注目された (Quiao, Kar, U. Belfast, 英)。(白神)

#### プラズマ応用分野

プラズマ応用関係としては、ダストプラズマを含む宇宙、環境、医療等に関する発表が主であった。おおよそプレナリー講演 5 件、招待講演 28 件、口頭発表 21 件、ポスター発表 27 件程度であった。宇宙関連として、宇宙探査機等の各種プラズマ利用方式の比較に関する講演がいくつかあった。大きな exhaust velocity を有した電気推進系の一つとして、イオンエンジンを利用している「はやぶさ」も紹介されていた。電極損傷軽減に関する方式の研究が今後の課題として述べられていた。また、実験室サイズのプラズマ装置を用いて観測、理論と比較をしながら宇宙物理現象を明らかにしようとする実験室天文学に関する研究が多く見受けられた。特に、太陽・地球磁気圏に関する研究として、auroral radio emission の実験、ヘリコンプラズマへの CT 入射実験、太陽コロナ領域の磁力線再結合現象に関する観測結果などが発表された。また、大気上空のスプライト現象に関する招待講演もあった。

環境関連として、plasma & surface catalysis に関する招待講演があった。放電方式、触媒粒子種、多孔質度による違いについての実験結果が紹介され、放電によって酸化粒子 (酸素原子等) が多くなり、酸化がより進むとのことであった。

医療関連では、米国・UC バークレー、オランダ・Eindhoven University of Technology のプレナリー講演があっ

た。例えば、グラム陽性およびグラム陰性の菌に対してプラズマ照射の影響がそれぞれ見られること、エレクトロポレーションによる影響ではないとされる弱い DC 電圧の印加実験の影響も示されていた。他の招待・口頭講演では、cancer treatment, killing bacteria, 生体適合材のコーティング、バイオセンサーを目的としたナノパターン形成処理、代謝物質の検出、表面波励起大気圧プラズマによる基底状態の酸素原子の生成実験、などの研究が紹介された。日本からは産総研(榊田)による招待講演があり、ヘリウムプラズマとアルゴンプラズマの血液凝固の違い等について発表された。ポスター発表では、医療関連に関する発表は少なかった。しかし、応用分野に関する発表を全体的に見て、医療関連に関するセッションへの聴講者がより多かったという印象である。(榊田)

### プラズマ物理一般

磁場閉じ込め・慣性閉じ込め以外のプラズマ物理に関するトピックは、基礎・天体プラズマ (Basic Plasmas & Space & Astrophysical Plasmas; BAP) およびダスト・低温プラズマ (Dusty & Low Temperature Plasmas; LTP) の2つの領域において、口頭発表およびポスター発表が行われた。

BAPセッションでは、磁場下でのプラズマの揺動・輸送に関する研究が招待講演として多く取り上げられていた。27日には Pulkkinen 氏により、太陽コロナでの磁気リコネクションを起源とする太陽風について、実験・シミュ

レーションによるアプローチについて報告された。また、Windisch氏により、実験室プラズマの非線形モードカップリングの話題などが取り上げられた。この講演では、プラズマ揺動構造の形成過程が多チャンネルプローブアレイを用いて実験的に調べられていた。

LTPセッションでも、プラズマ物理に関する話題としては、会期前半は27日の Hagelaar 氏の磁場垂直方向の粒子輸送に関する研究のように、BAP分野と同様磁場下でのプラズマの挙動を報告したものが多かった。その他の幅広い話題は6月30日と7月1日のLTPセッションにまとめられていた。30日に行われた Maric 氏による発表では、100年以上も研究がなされているにも関わらずまだ多くのことが未知である放電破壊について、実験・計算の両面からのアプローチによる報告がなされた。また、Luque 氏により、地球上層大気中の放電について発表が行われた。本講演中で、高度 50~80 km の上層大気中で起こる sprite と呼ばれる放電について、その大きな空間スケールと空間的な非均一性が、実験室プラズマにはない特徴をもたらすことが紹介された。1日の Stefanović 氏によるダストプラズマ中の運動に関する研究の報告なども特徴的であった。

上記のような本トピックに関する口頭発表は約40件行われたが、聴衆の数は磁場閉じ込めプラズマ・慣性閉じ込めプラズマに関するものと比較すると少なく、またポスター発表の数も少ないようであった(領域ごとの発表数は公表されていない)。現在の EPS でも、プラズマ核融合に関する報告が中心的感觉であると感じた。(藤井)