



内外情報

■会議報告

第32回欧州物理学会 (EPS) プラズマ物理年次大会

日本原子力研究所 那珂研究所 坂本宜照
大阪大学レーザーエネルギー学研究中心 西村博明

欧州物理学会 (EPS) のプラズマ物理年次大会が2005年 6月27日から7月1日まで、古代ローマ遺跡で有名なスペインのタラゴナで開催された。タラゴナはバルセロナから電車で西へ1時間ほどに位置した、海辺の静かなリゾート地である。ローマ時代はタラコと呼ばれ、港町として栄え100万人都市であったそうだ。連日の気温は30度を超え日差しも強かったが、地中海性気候のため乾燥しており比較的過ごし易かった。講演会場は天然の岩盤をそのまま側壁として利用した大ホールであり、素晴らしい雰囲気であった。参加者数は750名を越え、欧州を中心に世界各国からプラズマ物理の研究者が集い日本からも66名が出席した。

日々の会議構成の概略は、3件のプレナリー招待講演後、各セッション（磁場閉じ込め／ダスト・低温プラズマ基礎・天体物理／慣性核融合）に別れて、招待講演、一般口頭発表、ポスター発表が行われた。発表件数が多くまたポスター発表が口頭発表と並列で行われたため、発表を聞いて回るのは大変であったが、どの会場も盛況であった。また慣性核融合のセッションでは、会期中の3日間を使って第8回高速点火ワークショップが開催された。なお、次回のEPSはイタリアのローマで開催される予定である。

今回は会議中にITERサイトがフランスのカダラッシュに決定という大きなニュースがあった。会議2日目の6月28日に議長より報告があり、夕刻には急遽、ITERセッションが開催され、ITER参加六カ国による共同宣言が紹介された。また「THE WAY TO ITER - An overview of Cadarache site」と題された講演が行われ、EISS (European ITER Site Studies team) のサイト決定までの取り組みを振り返り、ヘリコプターでITERカダラッシュサイト上空を旋回し、ITERが納められている建家入口まで行く映像がコンピュータグラフィックにより紹介された。そして会議出席者一同がITER建設の一步をやっと踏み出したことを喜び合った。ちなみにカダラッシュ近郊のエクサンプロバンスに用意される研究者用住居のレンタル料は月額500ユーロ (70 m²) 程度だそうである。コンファレンスディナーでは、本学会長の高村教授が日本からの参加者を代表して挨拶し、カダラッシュへのITERサイト決定は残念であること、合意におけるブローダーアプローチは評価できること、強力な国際協力の推進の重要性について話された。

さて磁場閉じ込め関連セッションでの発表内容について概観する。プレナリー招待講演は、チュートリアル的な内容で6件（ステラレータ炉コンセプト、プラズマ材料相互

作用、乱流励起シアフロー、プラズマ境界局在不安定性 (ELM)、燃焼プラズマ計測、トカマク輸送への非誘導電流駆動の効果) が行われた。招待講演は19件で、主要装置の最近の成果や主要トピックに関する成果が報告され、発表は物理的な内容に重点が置かれていたのが印象的であった。日本からの招待講演は2件で「JT-60U 長パルス放電における性能向上と制御課題 (原研 坂本)」と「NTM の発生と発展における異常輸送の役割 (原研／クルチャトフ研 コノバロフ)」である。一般口頭発表は24件で、日本からは「LHD における閉じ込め改善プラズマのダイナミック輸送解析 (核融合研 居田)」の1件が報告された。ポスター発表は磁場閉じ込め関連で約450件あった。また低温プラズマセッションでは日本から「マイクロプラズマとマイクロ波の制御と相互作用 (京大 橘)」が招待講演として行われた。

磁場閉じ込め関連の全体的な発表において、ELM や周辺輸送に関する発表 (ELM 緩和、安定性、熱負荷、輸送など) が多いのに対して、内部輸送障壁 (ITB) 関連の発表が少ないことが印象的であった。このことは学術誌における ELM 関連の論文が増加していることに対応するようだ。例えば Plasma Physics and Controlled Fusion 誌に掲載された ELM 関連の論文が最近5年間で急増し、昨年は60件にも及んだそうである。これらは国際トカマク物理活動 (ITPA) において ELM による熱負荷低減が重要課題の一つであることに加えて、近年の計測器性能の向上や理論・モデリングの進展によるところが大きい。ELM 緩和について、DIII-D では主トロイダルモード $n=3$ の外部磁場を定常で印加することにより、ITER レベルの低衝突周波数領域で H モードの閉じ込め性能を維持しつつ ELM を完全に抑制することに成功した。その際 QH モードと同様に密度が減少し温度が上昇するが、なぜ粒子輸送が増大するのかについてはわかっていない。これに対し、TEXTOR の Dynamic Ergodic Divertor 実験ではストキャスティック層により電子温度が急激に減少する。今後のモデリングによる物理機構の理解に期待したい。また JT-60U からは、トロイダル回転制御により ELM 周波数の制御が可能であること、QH モードが CO 入射により生成され ITER への適用可能性、ELM 間輸送解析が報告された。トロイダル回転シアの効果を考慮したピーリング・パルニングモード解析 (ELITE コード) において、ELM 発生に対する影響は小さいがモード構造が変形されること、3次元非線形シミュレーション (BOUT コード) により、ELM バーストによるフィラメント構造が再現された。

ITB 関連の発表では、電子系 ITB と磁気シアや有理面との関係が主に議論されていた。また ASDEX-U では、イオン系 ITB 形成条件として熱化イオンのビームイオンによる希釈を議論し、TRANSP コードによる高速イオン分布の

時間発展とITB発生時刻・位置や密度閾値等が実験と良く合うそうである。数年前から荷電交換分光法によるポロイダル回転測定において、種々の原子過程効果により測定が困難になる場合があることが話題になっていたが、DIII-Dから推測されるポロイダル回転は、新古典理論による予測値と大きく異なることが報告された。

上述以外でいくつかの装置からの主要な結果について簡潔に列挙する。

ASDEX-Uからは、improved H-mode をベースにしたITERのハイブリッド運転予測や、タンゲステン不純物の発生・輸送について報告があった。DIII-Dでは、抵抗性壁モード(RWM)の帰還制御を行うことにより $\beta_N \sim 4.0$ の負磁気シアプラズマを2秒間維持に成功した。JT-60Uからは、強い自律系である高自発電流割合(75%)を持つ負磁気シアプラズマをITB制御によりディスラプションを回避し電流拡散時間の2.7倍維持した成果や核燃焼模擬実験などについて報告があった。LHDからはベレット入射時の輸送の分岐特性、熱拡散係数の電子温度依存性、高ベータ実験における電磁流体力学的(MHD)特性などが報告された。フランス/カダラッシュのTore Supra装置からはRFパワー変調による粒子輸送や高密度プラズマの長時間放電におけるプラズマ壁相互作用などが報告された。スウェーデンのRFP装置(EXTRAP T2R)では128個の磁気コイル(ポロイダル方向4, トロイダル方向32)を用いて異なるモード数を持つ複数のRWMを帰還制御により抑制し電流拡散時間の7倍維持した。ステラレーターでは、4つの装置(CHS, HSX, LHD, TJ-II)において輸送特性や安定性の比較を行っていた。

今回は、Plasma Physics and Controlled Fusion 誌がボンサーの学生ポスター賞が企画されており、4名が受賞した。その中に東京大学の石大氏の「CHSの周辺輸送障壁におけるビーム発光分光による密度揺動計測」に関する発表が含まれている。喜ばしい限りである。また、博士課程に在籍するプラズマ乱流に関する優秀な1名の学生に対して送られる伊藤早苗教授による伊藤プロジェクト賞が企画され、ドイツのTEXTOR装置で研究するSchmitz氏が受賞した。

欧州には数多くのトーラス型磁場閉じ込め装置があり、若手研究者が大勢発表を行っていた。10年後にはITERで20年間におよび本格的な核燃焼実験が開始されることを考えると、準ホスト国である我国において長期的かつ戦略的な人材育成が必要であることを痛切に感じた。

さて慣性核融合関連セッションでの発表内容について概観する。セッション名は「Inertial Confinement Fusion 慣性核融合」とされているが、対象はレーザープラズマ物理全般がカバーされている。実のところ、欧州連合体が進める慣性核融合プログラムは存在していない。これは、慣性核融合研究項目の一部が米仏英を中心に進められる国防研究と重なるため、明確な切り分けを求める欧州連体内での足並みが揃わないためである。しかし、このような状況にあって、欧州のレーザープラズマ物理研究者は、本領域を活性化しようと数多くの努力が重ねられてきた。今回のプ

ログラム構成にもその結果が随所に伺える：(1)欧州はもとより米国、日本における慣性核融合研究から顕著な成果を選び、プレナリー講演として招待している。米サンディア国立研からのZピンチ生成X線駆動核融合しかり、阪大レーザー研の高速点火FIREX計画しかりである。プレナリーセッションは参加者の全体が出席できるようプログラムされた特別講演であるから、世界の現状を欧州プラズマ研究者に知らしめるには効果がある。(2)EPSと第8回高速点火に関する国際ワークショップがバラレルに開催された。この高速点火ワークショップはEPSとは独立に開催され、今年は欧州が担当であった。その機を生かして、欧州研究者と他国の研究者の相互交流が期待された。(3)4年前、筆者はマデイラ島(ポルトガル)で同様な併設構成の会議に参加する機会を得たが、それと比較しても確実に参加者が増えている。特に米国からの参加者が4倍増した。一部の研究者を除き、米国は高速点火方式に関して静観を決め込んでいたが、我が国を中心とする一連の高速点火研究の急速な進展に刺激され、高速点火方式オプションが拡大されつつある。(4)今回、Alfvén 学術賞がワイヤーアレー式のZピンチプラズマ安定発生とX線源開発に貢献のあったM.Hines(インペリアル・カレッジ), T.W.Sanford(サンディア国立研), W.P.Smirnov(クルチャトフ研)の3氏に授与された。慣性核融合に携わるものとしては同慶の至りである。ポスター発表を除いた招待講演、一般口頭発表講演数での比較では全体170件中66件が慣性核融合関連であった。ポスター発表での慣性核融合比率はこれほどでもなかったが、関係者の努力は実ったといえよう。

さて、発表内容に視点を移してみよう。大型レーザー核融合プログラムに関しては米ローレンス・リバモア国立研の国立点火施設NIFでの1クラスター実験(17 kJ/1~10 ns)の成果、仏ボルドー研・レーザーメガジュールLMJ施設を想定した高利得ターゲット設計と米仏共同実験との比較、日本における超高強度レーザープラズマ中のエネルギー輸送研究の進捗などが核融合研究としてハイライトできよう。レーザープラズマ相互作用研究の対象はナノ秒プラズマからサブピコ秒プラズマと守備範囲を広げている。前者は主としてNIFやLMJ核融合プラズマで重要であり、後者は高速点火核融合において重要である。特にNIFホーラムにおけるナノ秒プラズマ中での誘導ブリラン散乱(SBS)や誘導ラマン散乱(SRS)研究の結果が興味深い。これはNIFプラズマのような数mmもの長スケールプラズマがあるとSBSなどのパラメトリック相互作用の結果、高速粒子が発生するばかりか、反射光がレーザーシステムを破壊する心配すらあるからである。しかし、今回発表された1クラスター実験結果はこれらの心配を払拭した。変換効率は以外と少なく、投入エネルギーの高々0.5%がSBSで、0.05%がSRSであったと報告された。NIF計画を継続する上で望ましい結果である。ただ、なぜそのように低いのか、物理解明はこれからである。

流体力学的不安定性の実験は大型レーザー装置の存在が不可欠であり、理論を除いて、流体不安定性の研究は欧州では皆無といってよい。同様に、X線レーザーやオパシ

ティ研究を除いて、輻射変換や閉じ込め物理（総称して、ホーラム物理とも呼ばれる）の物理議論も皆無に等しい。一方で超高強度レーザー生成プラズマに関する研究は活発である。高速点火核融合という主題に直結し、しかし必ずしも巨大な研究施設を要求しないことがその理由であろう。

爆縮プラズマの加熱実験は成功したが、その物理はまだ完全には理解されたわけではない。こうした共通認識のもと、EPS 後半3日間に開催された「高速点火国際ワークショップ」の話題の中心は、超高強度レーザー照射下での様々な非線型相互作用、高速電子やイオンの発生物理、プラズマ中の輸送、そしてエネルギー付与と加熱物理となった。高速点火研究は、超高強度レーザーを用いた基礎研究と爆縮プラズマを発生してこれを追加熱する統合実験とに分けることができる。後者の研究ができる環境にあるのは現在、阪大レーザー研に限られるが、これを追うように高エネルギー超短パルスレーザー装置の建設が進んでいる。

米国ロチェスター大学レーザーエネルギー研究所(LLE)ではOMEGA-EP (extended performance) とよばれる装置(2.5 kJ/0.5 ps) が2007年完成をめざして建設中である。ローレンス・リバモア国立研で建設の進むNIFでも高速点火がオプションとされている。また、サンディア国立研ではZ-ピンチ X 線駆動爆縮プラズマにZ-beam と呼ばれるペタワットレーザーを追加熱する計画である。なお、LMJでの高速点火オプションまだ明確ではない。しかし、基礎研究では仏・高強度レーザー研究所(LULI: リューリ)が、英・ラザフォード・アップルトン研究所が大型ペタワットレーザーを用いたプラズマ研究を牽引している。

本会議の招待講演は Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion 誌に掲載される予定であるので、発表内容の詳細はそちらに譲る。なお、次回的高速点火ワークショップは米・ロチェスター大学 LLE 主催で開催される予定である。

(2005年8月9日原稿受付)



内外情報

■会議報告

第27回電離気体現象国際会議

(XXVIIth International Conference on Phenomena in Ionized Gases (ICPIG))

金子俊郎(東北大学大学院工学研究科電子工学専攻)

第27回電離気体現象国際会議が、オランダのEindhovenで2005年7月18日から22日まで5日間の日程で開催された。

主要な参加国と参加者数を列举すると、開催国のオランダ61名、日本57名、ドイツ50名、ロシア24名、フランス22名、米国19名、ルーマニア19名、韓国14名、イラン12名、チェコ12名、ベルギー10名等であり、全41カ国からの参加であった。全体の参加者数は378名で、前回のドイツ Greifswald の開催時402名から若干減少したものの、会場はほぼ満員で連日活発な議論が繰り広げられた。

本会議のトピックスは非常に幅広い分野を対象としており、下記の20に分類されている。

1. Kinetics, thermodynamics and transport phenomena.
2. Elementary processes.
3. Low-pressure glows.
4. Corona's, sparks, surface discharges and high pressure glows.
5. Arc discharges.
6. High-frequency discharges.
7. Ionospheric, magnetospheric and astrophysical plasmas.
8. Plasma diagnostic methods.
9. Plasma wall interaction, electrode and surface effects.

10. Physical aspects of plasma chemistry, plasma processing of surfaces and thin film technology.
11. Generation and dynamics of plasma flows.
12. Non-ideal plasmas. Clusters and dusty plasmas.
13. Waves and instabilities, including shock waves.
14. Nonlinear phenomena, self-organization and chaos.
15. Particle and laser beam interaction with plasmas.
16. Plasma sources of radiation.
17. Numerical modeling.
18. Plasmas for environmental issues.
19. Highly ionized, low-pressure plasmas (plasma thrusters, ion sources and surface treatment).
20. High-pressure, non-thermal plasmas.

本会議の口頭発表は招待講演34件 (General Invited Talks 9 件, Von Engel Prize Lecture 1 件, Topical Invited Talks 24件) およびワークショップ15件であり、ポスター発表は約350件であった。今回の会議の特徴としては、大気圧(高気圧) マイクロプラズマに関する発表が非常に多かったように思われた。初日の最初のプレナリーセッションでのイリノイ大学の Eden 教授をはじめとして、表面処理、光源、物質創製などの分野で、多くのマイクロプラズマまたは大気圧プラズマに関する発表がなされ、それに伴う計測技術開発に関する発表も多数あった。

また、本会議の特徴として、話題性のあるテーマを討論するワークショップが会議2日目を丸1日使って行われた。テーマとしては、“Transient phenomena and pattern formation”と“To the memory of Daniel Schram's 65th birthday”が選ばれ、それぞれ7件および8件の講演があっ