

## ■会議報告

### 第41回 EPS Conference on Plasma Physics

岡村昇一(核融合科学研究所)

坂上仁志(核融合科学研究所) 沼田龍介(兵庫県立大学)

#### 1. 概要

標記会議が2014年6月23日から27日まで、ドイツのベルリンにおいて開催された。会議場はアレキサンダー広場駅近くの、よく映画などにも出てくる展望台付きのテレビ塔のある場所で、旧東ドイツ地域の市街の一つの中心にあたる。この会議の前のドイツでの開催は、かなり以前の1991年の第18回会議にまで遡り、同じベルリンでの開催であった。筆者の一人(岡村)はその時の会議にも参加していて、会議の会場の案内が出た際には、全く同じ会場であることに少なからぬ感慨を覚えた。会議での実行委員会からの説明では、案の定前回の会場を意識した上での選定であったようだ。

前回の会議は、1989年から1990年に至るドイツの再統一の一連の動きの直後の開催であり、会場として東ドイツ地域を選んだのもある種のメッセージであったかと思う。我々外国からの参加者も、ドイツの新しい動きに新鮮な印象を持って会議に臨んだことを鮮明に思い出す。この20年余の間に何がどう変わったかについては、世界情勢と我々の研究領域と両方について述べれば切りがないが、この小報告はその場ではない。ただ一つだけ述べるとすると、その頃のEPS会議の表題が"European Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics"であったことをご記憶の方はどれだけおられるであろうか。10年ほど前から、表題から"Controlled Fusion"が消えているのは、EPSの主催者側のそれなりの判断の現れである。

EPS Conferenceでは、プラズマ物理研究として4つの研究の流れを設定しているのが大きな特徴である。それらは1)Magnetic confinement fusion, 2)Beam plasmas and inertial fusion, 3)Low temperature- and dusty plasmas, 4)Basic- and astrophysical plasmasである。セッションとしては、朝の時間を中心とした全体会、4つの会場に分かれた分科会、昼食の後の午後前半のポスター発表、という構成。参加者の人数は圧倒的に磁場核融合関係者が多いが、それでもできるだけ4つの分野の独立性を比較的均等に確保しようというのが会議の基本姿勢である。磁場核融合に関する会議は、IAEA FECを初めとして炉工学関係なども含めればそれこそざんざりするほどある中で、プラズマ物理という研究領域を、どのような方向性を持って維持・発展させて行くかという、強い意識と意思に基づいた会議の運営であるように感じる。それぞれの研究分野の発表内容については、節を分けて個別に報告する。

会議初日の朝は opening ceremony と参加者への technical information で始まるのは通常通りであるが、壇上にはEPSの chair person, program committee の代表、現地実行委の責任者の三人しかいない。当然ながら ceremony はあっさり終わった。後で現地実行委の委員長に尋ねたところ、必要な要素だけに設定したとの話。我が意を得たり

との印象をもったが、会議全体の設定においても必要な要素はちゃんと用意して、不要なものは入れないという配慮が全体に行き渡っていたように感じた。会議に必要なものは、研究者が一同に集まり、研究成果の発表と研究者同士の議論の場があればそれで必要十分。今回の会議では paperless を強く意識した設計がなされており、program agenda 等の表示は、スマートフォン等で使用する conference 用の無料アプリを用いるというスタイルであった。

会議本体の最初は Hannes Alfvén Prize の授賞と記念講演で、フランスのレーザープラズマ物理の著名な研究者である Prof. Patrick Mora に与えられた。記念講演ではかなり基本的な物理のテーマを中心に話をまとめていた。続いてプラズマ物理からのスピノフ的な成果も意識した EPS Plasma Physics Division Innovation Award と若手対象の Ph.D Research Award の授賞があり、このあたりもバランス感覚の良さを感じる。

4つの研究分野を意識するという事は、それらの間の相互関係・融合も重要な観点になる訳で、今回は上に記した分野番号の1)と4), 3)と4)の joint session が設定されていた。4つの分科会会場はこの時間帯で一つ余ることになるが、そこに参加者の多い磁場核融合のセッションを追加するという配慮を加えている。

会議の統計データとしては、参加者は649人、発表論文数は768である。国別ではアメリカがドイツに次いで第二位の参加者数、米欧の関係が緊密なことは民族的、地理的条件によるのだろう。アジア圏では日本が中国、韓国のほぼ倍の参加者数で、EUの国を含めた国別でも第七位、中国、韓国は発表そのものを含めて増加中である。

なお来年のEPSはポルトガルのリスボンで6月22日~26日まで開催される。(岡村)

#### 2. 磁場閉じ込め核融合研究

核融合の磁場閉じ込め分野では、このところのトカマクの研究の流れは、圧倒的にITER関連の技術的課題がターゲットである。もちろんプラズマ物理としての研究対象も多いが、話題としては炉壁の問題、PSIの課題、プラズマ制御の問題などが特に重要な研究対象である。実はこのような情勢の中で、EPSのConferece on Plasma Physicsはどのような姿勢で望むのかという点に興味があったのだが、上にも記したような「プラズマ物理の会議」という姿勢は、program委員会としてしっかりと保持していたように思う。

ここ数年は、会議の中でITER session といった特別の時間枠を取るのが自然な流れとなっているが、今回はそのような方向性は取られていない。招待講演からITERというキーワードを探したところ、2件のiter-like wall (ILW)についての発表を含めて4件だけであった。その内の2件は一種の総合報告であって、ITERについてもある程度話題は確保しておこうということか。ただし会場での雰囲気は「もうあちこちでさんざん議論した話なので一応聞いておくだけ」といった調子であった。

現地実行委がMax-Planck Instituteのプラズマ物理研究所ということもあって、プレナリーの最初はドイツのヘリ

カル装置 (Wendelstein 7-X) に関するレビューであった。建設が長引いてやっと来年の実験開始にこぎつけたところであるが、磁場核融合の研究の進展の時定数が非常に長くなっていることが気にかかる。会議全体の印象から、プラズマ物理全体としても、同様にゆったりとした足取りになっているように感じた。足下を固めた地道な研究の進展という良い側面はあるものの、他の研究分野と比べた時に、生き残りの活力がどのくらいあるものなのか心配なところもある。(岡村)

### 3. ビームプラズマ・慣性核融合

ビームプラズマ・慣性核融合セッションとして、プレナリー3件、招待講演16件、オーラル24件、ポスター約70件の発表があった。

米国 NIF に関するプレナリーでは、低迷していた実験結果を開閉すべく high-foot と呼ばれる従来とは異なる爆縮モードの実験を提案した O. Hurricane 氏による丁寧な NIF の解説があった。そして、X 線の輻射温度を上げるためホーラムの材質を金から劣化ウランに変えた実験結果として、最大  $9.6 \times 10^{15}$  個の中性子発生および 27 kJ の核融合出力が達成できたと報告された。その後、high-foot 爆縮モードの詳細なシミュレーション解析の結果と実験の計測結果が示され、このモードの爆縮が従来の low-foot モードより安定であることが報告された。最後に今後の方針として、レーザーパルス波形やターゲット構造を変えることで爆縮速度を上昇させ、劣化ウランホーラムにより爆縮コアの形状を制御して自己点火をめざすことが示された。

一方、フランス LMJ に関するプレナリーでは、ホーラムの表面積を低減してエネルギー損失を抑えるため、NIF の円筒型とは異なるラグビーボール型のホーラムを採用する旨が報告された。そして、米国ロチェスター大学の OMEGA によりホーラム形状による核融合パフォーマンスの違いを実験検証し、ラグビーボール型ホーラムの方が、X 線輻射が 1.5 倍になり、その結果爆縮時間が 300 ps 早く、中性子発生が 10 倍になったことが示された。また、ホーラム内のプラズマ中で誘起されるパラメトリック不安定性によるレーザーの反射を低く抑えるため、位相と偏光のスムージングが必要であることも示された。

この他の慣性核融合関連では、SNL の Z マシンによる Magnetized Liner Inertial Fusion (MagLIF) と呼ばれているレーザーで加熱した燃料を Z ピンチにより圧縮する方式の実験結果について、DD 燃料により  $2 \times 10^{12}$  個の中性子発生を観測したと報告されたが、まだ海の物とも山の物ともつかないというのが感想である。

残念ながら、我が国の FIREX-I 高速点火実証実験については発表がなく、プレゼンスの低下が懸念される。

レーザー核融合以外では、欧州 ELI 計画に関連しているチェコ、ハンガリー、ルーマニアにおけるレーザープラズマの研究が順調に立ち上がって、成果が出始めている印象を受けた。(坂上)

### 4. 基礎・天体プラズマ

基礎・天体プラズマのカテゴリーからは、オーラル (プレナリー・招待講演を含む) およびポスター発表がそれぞれ約 35 件、70 件あった (全体の約 10%)。そのうち、1 日は低温・ダストプラズマ (LTDP) と、1 日は磁場閉じ込め核融合 (MCF) との合同セッションであった。本カテゴリーの対象は多岐に渡るが、磁気リコネクション関連の研究が最も多く、次いで乱流、衝撃波、波動現象、基礎実験などの話題が多かったようだ。

A. Petrukovich によるプレナリーでは、地球磁気圏の電流シートの構造に関する観測と理論の比較について報告された。Cluster による観測によって、磁気圏尾部において、イオンの運動論的スケール (1000 km 程度) の薄い電流シート構造が形成されることが報告されている。この電流が Speicer 軌道と呼ばれる transient なイオンによって運ばれているとするモデルによって観測結果を説明した。近年では、磁気リコネクションの問題は運動論的に取り扱うことが標準的になっているが、ミクロな粒子的効果を直接観測できる状況は限られており、磁気圏の観測データは貴重である。この報告のように観測と理論とを詳細に比較することによって、今後さらに運動論効果の理解が進展することが期待される。

その他、筆者が特に興味をもった講演について報告する。A. Schekochihin は、弱衝突プラズマにおける MHD 乱流ダイナモの理論について講演を行った。弱衝突・磁化プラズマにおいては、磁気モーメントが保存するため、磁場の強さがダイナモ効果によって局所的に変化すると圧力の非等方性が現れる。標準的な MHD モデルにおけるダイナモ理論をレビューした後、圧力の非等方性がある場合に理論がどのように変更されるかが示された。圧力の非等方性は、ミラーやファイアホースなどの微視的不安定性を駆動するが、太陽風の観測結果が示すように、プラズマはこれらの不安定性の閾値を越えないように自ら律する。安定性の制約条件を満足するために、磁場の成長率を制限するモデル、異常粘性によって圧力の非等方性を制限するモデルが提案された。本講演では、理論モデルの提案までであったが、銀河間ガス (intergalactic medium) の磁場の起源への適用を検討しているようである。



また、D.Escandeは、N体問題の力学からデバイ遮蔽、ランダウ減衰、衝突による輸送を導出する方法について報告した。これらの基礎的なプラズマ中の集団現象の取り扱い方についての新たな視点を提案するというものである。講演者が強調したように、統計的（確率的）取り扱いをせず力学的な取り扱いのみから、これらの現象を導出できるという結果は意外であり、質疑応答時には、その手法の適用できる条件について（やや批判的な調子の）質問が相次い

だ。常道から外れるため面喰ってしまうが、原理的には、すべての粒子の位置をNewtonの運動方程式から決めてしまえば、静電ポテンシャルを計算することができるはずで、実際そのようにしてポテンシャルが導出されている。理論の詳細については文献を研究する必要があるが、分子動力学シミュレーションによってランダウ減衰を取り扱うことができれば面白いのではないだろうか。（沼田）

（原稿受付：2014年7月29日）

# PLASMA CONFERENCE 2014

プラズマ・核融合学会 第31回年次大会  
日本物理学会（領域2）2014年秋季大会  
応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会 第32回プラズマプロセッシング研究会

2014年11月18日(火)–21日(金)



## 参加登録料

主催・協賛学会の正会員：20,000円（不課税）

主催・協賛学会の学生会員：4,000円（不課税）

※2014年11月1日以降は、それぞれ1,000円上乘せになります

詳しくは学会誌3月号p.207または<http://www.jspf.or.jp/PLASMA2014>をご覧ください。