



■第17回プラズマ物理学国際会議 (17th International Congress on Plasma Physics)

土屋隼人(核融合科学研究所)

浜口智志(大阪大学工学研究科)

余語覚文(大阪大学レーザーエネルギー学研究センター)

標記の会議(以下、「ICPP2014」と略記)が、2014年9月15日(月)から19日(金)までの5日間、ポルトガルの首都リスボンにある Institute Superior Técnico (IST), Universidade de Lisboa の Alameda Campus で開催された(図1および2)。ICPPは、国際諮問委員会(International Advisory Committee)により会議全体のプログラムが作成され、現地実行委員会(Local Organizing Committee)が個別の会議を運営する。今回の両委員会の委員長は、ISTの Tito Mendonça 教授であった。

ICPPは、核融合から基礎プラズマまで、プラズマ物理学の幅広い分野を対象とする歴史ある国際会議で、日本にも縁が深い。第1回ICPPは、1980年に名古屋で開催され、その後、2、3年間隔で、各国で開催されてきた。順に挙げると、Gothenburg(1982), Lausanne(1984), Kiev(1987), New Delhi(1989), Innsbruck(1992), Foz-do-Iguaçu(1994), 名古屋(1996), Prague(1998), Quebec City(2000), Sydney(2002), Nice(2004), Kiev(2006), 福岡(2008), Santiago(2010), Stockholm(2012), そして、今回に続いている。

ICPPにおいて、発表トピックは、慣例で、次の4分野に分類されている。

MCF (Magnetically Confined Fusion),

LPB (Laser and Particle Beams),

BAP (Basic and Astrophysical Plasmas),

LTP (Low Temperature Plasmas).

発表全体の件数は、基調講演4件、招待講演が、MCF 11

件、LPB 10件、BAP 9件、LTP 10件の計40件、一般講演の口頭発表は、MCF 8件、LPB 22件、BAP 20件、LTP 24件の計74件、ポスター発表は、MCF 36件、LPB 29件、BAP 37件、LTP 35件の計137件、全体で255件が予定されていた。ただ、一般講演やポスター発表では、キャンセルも目立ち、発表の規模が、例年に比べて、やや小さいような印象を受けた。ICPPは、通常、IAEA(国際原子力機構)の Fusion Energy Conference (FEC) の開催年に開催され、今回は特に、FECの開催が10月で、本会議の開催日と近いという事情もあり、本会議の核融合関係者の参加者数が、伸び悩んだのかもしれない。

基調講演の4件は、ロチェスター大学(米)の R. Betti 教授によるレーザー核融合研究、カラム研究所/ウォリック大学(英)の R. O. Dendy 教授によるトカマクのイオンサイクロトロン波、JIHT(露)の V. E. Fortov 教授による非理想プラズマ、核融合研科学研究所(日)の居田克巳教授によるトロイダルプラズマの輸送物理研究に関するものであった。

なお、会議中は、初日月曜夕方に、リスボン市内のピメンタ宮殿(Palacio Pimenta:現在は市博物館)でレセプション、水曜午後に、テージョ川クルーズ、木曜夕方には、リスボン市内のオビドス伯爵宮(Palacio Conde d'Obidos)での晩餐会が催され、社交の場としても、大変有益であった。尚、次回のICPPは、台湾国立成功大学の C. Z. (Frank) Cheng(陳秋榮)教授が委員長となっており、2016年に台湾の高雄(カオシュン)で開催されることが決定されている。

以下では、今回の会議の学術的に内容について、概要を報告する。(文責:浜口)



図1 ICPP2014の発表の様子。今回の会議の主要会場となったIST Alameda CampusのCentro de Congressos大講義室。



図2 IST, Universidade de Lisboa, Alameda Campus.

MCF :

今回のICPPは、EPS (European Physical Society) およびIAEAに挟まれた会議となったため、全体的に大型装置の実験に関する発表が少ない一方、理論分野や小型装置を中心とした基礎的な特性の発表などが割合として多くを占めた。件数は少ないがロシアによるトリウム-ウラン燃料生成を目的とするハイブリッド炉の試算も進められていることが報告されていた。

その中で周辺プラズマ研究としてKrasheninnikov氏の発表を、ポスター発表からblob挙動に関する発表を紹介する。Krasheninnikov氏はLarge type-I ELMとsmall-frequent ELMsでは壁への粒子の吸収が異なるために、ELM-clashからの密度回復過程が全く異なることを示した。特にsmall-frequent ELMsでは粒子は壁に吸収されずとどまるために、SOLやダイバータでの中性粒子の輸送がペDESTALの制御に重要であることを改めて示した。また、SOLでの電子の非等方性がダイバータへのヒートフラックスの制御に関係する等、周辺プラズマと壁プロセスの相互作用が制御できない粒子供給をもたらす可能性を示唆し、相互作用の重要性を強調した。

MCFのポスター発表では残念なことに多くの発表キャンセルが見られたが、イタリアのTHORELLOグループから複数件数の発表が見られた。THORELLOは冷陰極を用いたトロイダル装置であるが、低温であることを活かした定常状態でのコンディショナルサンプリング手法でblobの挙動の研究を行っている。参照プローブと可動プローブの組み合わせで2次元の画像としてblobと密度が低い領域plasma voidsの挙動を同時に捉えた。彼らの報告ではblobは外向きの挙動が主で、voidの挙動は背景の $E \times B$ に従う。つまりblobとvoidの挙動の方向が違い、外向きの輸送はblobが担っていることを明らかにした。(文責：土屋)

LPB :

LPBセッションでは、基調講演1件、招待講演10件、一般口頭発表22件、ポスター発表29件が実施された。

基調講演では、ロチェスター大学のR. Betti教授より、"Status and Prospects for Burning Plasmas via Fusion"の標題で、米国国立点火施設(NIF)における間接照射型ICF実験の最新の成果について報告された。2013年11月に実施された実験で、核融合エネルギー利得が17.3 kJ [Nature 506, 343 (2014)]となり、圧縮された燃料中に投入されたエネルギーを史上初めて上回ったが(すなわち、コア利得>1)、2014年1月に実施した実験では、核融合エネルギー利得はさらに上昇し26 kJを得たことが報告された。レーザーパルスを高脚(High-Foot)と称される、先行パルスの強度を強めた駆動波形に調整し、断熱性をゆるめた圧縮を行い、レイリー・テイラー不安定を低減することでホットスポットへの乱流混合の軽減を達成したことが要因に挙げられる。今回の成果で注目すべきなのは、核融合反応で発生したアルファ粒子による加熱が効果を及ぼし始めたことである。現状で、圧縮による加熱(PVワーク)と同程度のエネルギーにとどまっているが、益々研究が進み、アルファ粒

子加熱がPVワークの100倍程度になればローソン条件を達成することになる。今後は、高密度ダイヤモンド様カーボン(HDC)アブレータを開発してNear-Vacuumホーラムを実現することや、ベリリウムアブレータを用いて流体効率を上昇させること等を試みて、さらなる利得上昇を目指すとのことである。

招待講演では、仏国ボルドー大学のJ.J. Santos博士より、阪大レーザー研との共同研究において、キャパシタコイルにレーザーを照射し強力なリターンカレントを生じさせることで、キロテスラ級の磁場を発生させる試みが紹介された。磁場計測をファラデー回転法およびレーザー駆動陽子線バックライト法により測定した最新の実験結果が紹介された。独国GSIのO. Rosmej博士からは、エアロジェルの入ったシリンダーに間接照射型ICFと同様の方法でレーザー駆動X線を照射することで、密度の比較的均一なウォームデンス物質状態を生成し、これに加速器からのイオンビームを入射することで、プラズマ中での阻止能(エネルギー損失)を測定した実験について報告がなされ、プラズマ中では従来のベータの公式よりも阻止能が1.5~1.8倍高くなる結果が得られたことが報告された。阪大レーザー研の村上教授からは、カーボンナノチューブを用いたレーザー駆動陽子加速の理論的提案、および韓国GISTで最近実施された酸化チタン微細構造ターゲットを用いた陽子加速に関する成果について報告があった。

一般口頭発表では、独国マックスボルン研究所のA. A. Andreev博士より、テーブルトップチタンサファイアレーザーにより加速された陽子線を薄膜に照射し、薄膜を通過する瞬間に第2レーザーを集光することで陽子の追加速を試みる実験について報告があり、韓国GISTのS. Ter-Avetisyan博士からは水スプレーターゲットにレーザーを集光し、発生した中性イオンをもう1つの水スプレーターゲットを通過させてイオン化し、質量・エネルギー分析を行う実験が報告された。テーブルトップレーザーでも多重ビーム・多重ターゲットを志向する研究が増えつつあることを実感した。

以上のレーザー関連のセッションは例年と比べ発表件数も多く盛況であったが、1つ残念だったのは、4件もの口頭発表の取り消しがあったことである。理由は窺い知れないが、取消された枠を、ポスターに回された若手研究者に再度振り分けるような仕組みが必要ではないかと感じた。(文責：余語)

BAP :

基調講演で、JIHTのV. E. Fortov教授が、非理想プラズマ(non-ideal plasma)について、講演を行った。この分野に詳しくない人には、非理想プラズマの定義が良く知られていないようだが、基本的に、強結合プラズマ(strongly coupled plasma)のことである。すなわち、プラズマを構成する荷電粒子(特に電子)間のクーロン相互作用エネルギーが、それらの運動エネルギーより高い高密度プラズマである。本講演では、ショック波を用いて強結合プラズマを実験的に作り出す方法や、観測された非理想プラズマの

熱力学的性質と、その理論予測との比較などが議論された。

BAPは、非常に幅広い種類のプラズマを対象としており、今回の会議においても、様々な、プラズマの基礎研究や宇宙プラズマ研究の紹介という要素が強かった。招待講演は、Fortov教授の研究分野に関連した、ショック波による高密度プラズマの生成(M. Mochalov)や、極低温磁化プラズマとリュードベリ原子に関する講演(Zelener)が入っており、LTPのカテゴリーで発表件数の多いダストプラズマ(複雑プラズマ; complex plasma)研究と合わせると、強結合プラズマの統計力学に関する研究者の関心が高いことがわかる。BAPのカテゴリーの招待講演で、他に、筆者の興味を引いたのは日大の荒巻光利准教授の、チューナブルダイオードレーザーによる新しいプラズマ診断法に関する発表、および、ウィスコンシン大学(米)の巨大な永久磁石カスプ磁場を用いたプラズマ閉じ込め装置による、プラズマのダイナモ効果に関する最新の研究成果の発表であった。(文責: 浜口)

LTP:

LTPの分野では、基調講演はなかったが、10件の招待講演があった。LTPの分野も、多岐にわたる研究成果が発表されたが、他のカテゴリーとは異なり、産業応用を念頭に置いたプラズマ研究の発表も多い。最近の研究動向を反映して、大気圧プラズマに関する研究の発表が多かったが、

ダストプラズマに関する基礎研究の発表も比較的多く、ダストプラズマが、プラズマ物理学の一分野として、確立されたことを改めて感じた。プラズマ表面相互作用の研究発表も多く、招待講演の中では、アントワープ大学のA. Bogaerts教授によるCO₂変換に関する分子動力学シミュレーション研究、核融合科学研究所の伊藤篤史助教によるアモルファスカーボンへの水素イオン入射の分子動力学シミュレーション研究の発表が、筆者の印象に残った。また、東工大の野崎智洋教授は、非熱プラズマによる燃料変換に関する招待講演を行い、プラズマの産業応用のすそ野が広がっていることを、聴衆に印象付けたように思う。筆者(浜口)も、プラズマ医療の観点から、大気圧プラズマに接する液体中に生成される反応活性種に関する研究についての招待講演を行った。

ICPPは、非常に幅広いプラズマ研究者が集まっており、また、会議の目的も、プラズマ物理学のより深い理解にある。そのため、MCFやLPBのカテゴリーでも同様であるが、応用寄りのプラズマ研究を行っている研究者は、研究対象のプラズマの何が物理学として本質的に重要なのかを、発表の中でうまく伝えることが、ICPPで他の研究者とのコミュニケーションを活発にとる上で必要であると感じた。(文責: 浜口)

(原稿受付: 2014年10月14日)