

インフォメーション

■会議報告

第43回欧州物理学会 プラズマ物理に関する会議 (EPS 43rd Conference on Plasma Physics)

城崎知至 (広島大学)

藤澤彰英 (九州大学)

第43回欧州物理学会 (EPS) プラズマ物理に関する会議[1,2]が、2016年7月4日～8日の日程で、ベルギーのルーベンにて開催された。1425年設立という歴史あるルーベントリック大学 (KU Leuven) が会場で、講演は徒歩数分内のいくつかの建物で行われた。会場間の移動に多少の不便を感じたが、涼しく、歴史ある街並みと併せて全体的には快適な会議であった。

会議プログラムや授賞者情報、一般講演に関する論文については、参考文献に示したWebサイト[1,2]を参照されたい。基調講演・招待講演については、Plasma Physics and Controlled Fusionのspecial issueとして後日出版される。本会議は全体を通しての基調講演セッションと、MCF (磁場閉じ込め核融合)、BPIF (ビームプラズマと慣性核融合)、BAP (基礎ならびに天体プラズマ)、LTDP (低温・ダストプラズマ) の4分野ごとのパラレルオーラルセッションと、ポスターセッションから構成されている。オープニングセレモニーで会議は始まり、各賞受賞者に対する表彰の後、顕著な活躍をした女性物理学者を表彰するEmmy-Noether賞を受賞したSibylle Günter氏 (MPI) の挨拶、Alfvén賞を受賞した2名のレクチャー (H. Zohm氏によるMHD不安定性の非線形状態とその磁場核融合に対する影響とS.V. Bulanov氏による磁気リコネク



主会場となったKU LeuvenのPieter De Somer Aula (PDS)入口。



KU Leuven図書館とその前の広場にある有名なモニュメント・・・昆虫 (ハエ?) が縫い針に刺さっている。



オープニングセレモニーの様子。

ション; MHDからQEDへ) を経て、本会議へと入っていった。基調講演に関しては、プラズマ物理をキーワードに、核融合プラズマから相対論プラズマ、warm dense matter、プラズマ医療など、非常に広範なテーマが扱われており、各分野の進展を広く学ぶことができる。また、各パラレルオーラルセッションでは、個別分野だけでなくBAPと他の分野とのジョイントセッションも試みられ、領域横断的な講演も行われた。ポスターセッションでは、個々の研究成果発表に対して活発な議論が行われていた。来年は、英国 ベルファスト (北アイルランドの首府) で開催される。

磁場閉じ込め核融合 (MCFセッション)

今回の磁場核融合 (MCF) の領域の発表は、基調講演4件、招待講演19件、口頭発表26件、ポスター発表292件の発表があった。その他Alfvén賞受賞講演、Landau-Spitzer賞受賞講演、火曜のイブニングセッションの3件を合わせると336件の講演があった。日本からの磁場閉じ込めプラズマ関連の招待講演としてはNIFSの鈴木氏、量研機構の井出氏の2件、口頭発表は量研機構の浦野氏の1件であった。今回のAlfvén賞はASDEX-Uの実験を先導し活躍したZohm博士が受賞した。磁場閉じ込め核融合プラズマの性能を決定づける要因の一つとして重要なELMやNeoclassical tearing modeなどのMHDの非線形現象に関連した業績が評価され、講演はそれらに関するチュートリアル的なものであった。続く基調講演は磁場閉じ込めに関する波動加熱、特にイオンサイクロトロン加熱に関する話であり、開催国のベルギーのOngena氏が務め初日の午前のセッションを飾った。

二日目以降の磁場閉じ込め核融合関連の基調、招待を含めた口頭発表としては、ITERやDEMOの時代を反映してのことか、ELMやDisruptionに関連しMitigationやscalingという言葉と結びついた発表が多く、全体としてはチュートリアル的な要素が強い講演が多い印象を受けた。その他plasma-wall interactionに関連したものも多く、水曜日には丁寧にとまとめられた基調講演があり、その中でDEMOについてはa difficult equation to be solvedとの結論が記憶に残っている。一方でアイソトープ効果の論文は少なく、火曜日の午前のシミュレーションによる研究

があった。これについてはDTの改善が回転によると推定されていたが、注意を要する。ポスターに関しては、ご存知の方も多いと思うが今回で12回目となる優秀な若手を顕彰する伊藤賞の審査員を務めていた関係上、審査対象のポスターを聞いて回った。ASDEX-Uから、特にマイクロ波反射計に応募が多かった。今回の受賞者は、女性研究者で高速プロファイルスキャンのできるマイクロ波反射計の論文で将来が期待できる。

最後に今回の会議で最も印象に残ったのは何か。それは15年の建設期間を経てWendelstein7-Xが実験を開始したことであろう。W7-Xについて火曜日の3件の口頭発表に続きイブニングセッションが用意され、ディナーの時間にもかかわらず大勢の聴衆が詰め掛けていた。ここでは、W7-Xの責任者Thomas Klinger博士の講演に始まり、スペインのTJ-IIからはHidalgo博士、日本からLHDの森崎総主幹3名のステラレータの講演があった。最初の講演ではW7-Xの建設から現在までの経緯が説明され、現在すでにECH加熱により電子密度 $3 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ において電子温度8 keV、イオン温度2 keVが達成されたとのことである。質問では乱流による磁場配位の最適化に言及し、我が意を得たという思いがする。Hidalgo博士の講演は、大型の装置に比べ機動性の高い中小型の装置の物理探求に関する相補的な役割を強調したもので、これにも随分と共感できた。森崎総主幹の話は日本のステラレータ研究、ヘリオトロン研究のこれまでとこれからの研究についてまとめられていた。ステラレータの新しいメンバーが加わったことは磁場閉じ込め研究全体にとって嬉しいニュースである。今後のトロイダルプラズマの総合的理解を目指した研究がより発展することを望む。

慣性閉じ込め核融合 (BPIFセッション)

慣性核融合の講演は、BPIF分野にて行われ、基調講演3件 (BP2件/IF1件)、招待講演17件 (BAPとのジョイントセッション3件含む、BP14件/IF3件)、一般口頭発表22件 (ジョイントセッション2件含む、BP16件/IF6件)、ポスター85件であった。口頭発表の内訳をみると慣性核融合に比べ、ビームプラズマ (レーザー粒子加速・XFEL・THz生成等) の割合が大きくなっているのが特徴であった。6年前に参加したときは、LMJやHiPERに関連し、慣性核融合に直接関連する発表が多くあり、ヨーロッパにおける慣性核融合研究の最新情報に触れることができたのであるが、今回は極端に少なく感じた。

慣性核融合分野の最初の講演はLLNLのN. Meezan氏による基調講演であった。EPSでの慣性核融合の基調講演は、この1件のみで、EPSで欧州からの慣性核融合基調講演がないという点が、欧州における慣性核融合研究の現状を表しているように感じられた (ビームプラズマ関連の基調講演はもちろんあったのだが)。NIFにおける間接照射型中心点火方式レーザー核融合研究の進展と課題、今後の方針について非常にわかりやすい解説がなされた。現在の課題については、昨年のAPSの会議報告[3]においても述べたが、本講演では、特にホーラム内に燃料ターゲットを固定するための TENT による擾乱

印加を如何に抑えるか、また現状のレーザースペックの下でターゲットサイズとホーラムサイズや、レーザー波形を如何に最適化するか? という点が強調されていた。また、ホーラム内壁膨張を抑えるためにホーラム内壁に低密度フォーム層を配する方法なども検討されているとのこと。APSでも感じたことではあるが、点火の実現まではまだ数年はかかりそうだというのが印象であった。

直接照射型中心点火に関しては、LLE, Rochester Univ. のA.A.Goncharov氏が招待講演にて、点火に要する爆縮燃料中心の高温点火部の圧力が100 Gbarであるのに対し、現状のOMEGA実験では56 Gbar程度にしか達していないことが示され、詳細解析によりレーザーパワーバランスやターゲットオフセット、ターゲットクオリティなどが影響して減速相における流体不安定性で燃料界面が歪み、その結果として高温点火部の最後の一押しができていないためであると説明された。また、照射レーザー間のエネルギー輸送であるCBET (Cross Beam Energy Transfer) についても、NIFの間接照射の場合と同様、爆縮効率を低下させる重大な要因であるとして、解決のための研究が進められている。直接照射方式に関しては、National Direct Drive Strategyが制定され、今後5年間で改善を施し、点火スケールの爆縮コアと流体力学的に等価な爆縮コアの形成をOMEGAにて目指すとのことであった。一方で、米国では2020年に米国慣性核融合研究のレビューが行われ、点火実証可能か、もしダメならばその原因の解釈を明確化するとのことである。このレビューに向け、間接照射・直接照射方式に加え、サンディア国立研究所で行われている磁場を印加したZ-PinchのMagLIFの3方式での研究の進展が期待される。

欧州における慣性核融合研究発表では、理論シミュレーションによるものがほとんどであった。スペインカスティリア・ラ・マンチャ大のJ.G. Wouchuk氏によるRM不安定性の線形成長率の理論解析や同大のY.B. Sun氏による加速初期による流体不安定性の線形解析モデルの開発、フランスCEAのA. Debayle氏によるCBETの解析モデルの開発、同じくフランスのCEA (ボルドー大, CNRSにも所属) のA. Colaitis氏による衝撃波点火方式での衝撃波生成用の高強度パルス照射時のCBETや高速電子生成過程のモデリング並びにその流体コードとの結合解析、V.T. Tikhonchuk氏による実際の解析結果 (HiPERデザインの場合、生成高速電子のエネルギー分布を考慮すると、分布関数上の高温テイル部の電子が長い飛程を持ち、衝撃波前方を先行加熱することによって実効的に衝撃波加熱を弱め、従来の点火デザインでは点火できなくなる可能性を指摘) 等が、報告された。

BPIF分野の大勢を占めるBPに関しては、欧州ではEuropean XFELが2017年から稼働することや、ELI計画もあり、超高強度レーザープラズマ相互作用に関連した研究報告が多かった。特に高強度レーザーとXFELを用いた研究に関しては、European XFELの紹介をはじめ、日本のSACLAや米国のSLAC LCLSを用いた多くの実験結果 (レーザーショックによる鉄の相変化

状態や、レーザー駆動衝撃波の構造、相互作用領域の密度プロファイル等を、XFELを用いてプローブしたものや、逆にXFELにより固体ターゲットを直接加熱し、オージェ過程で生成する高エネルギー電子とバルク電子との緩和課程をXUV光でプローブしたものなどが報告されていた。レーザー粒子加速に関しても、電子やイオンビーム生成、電子・陽電子プラズマ生成など、非常に多くの講演があり、効率と質の向上を目指した様々な提案と実験による実証が報告されていた。例えば、レーザー航跡場による電子加速については、効率よく電子を加速場に供給する方法として、イオン化コントロール (H_2 ガス中に N_2 を微量 ($\sim 1\%$) 加える) やノズルから吹き出すガス中にチューブやワイヤーを挿入することで相互作用領域のガス密度分布をコントロールする方法、それらを組み合わせた方法、また、対向照射でビート波を生成しそこで電子を加熱・加速 (stochastic heating) し、航跡場に高エネルギー状態で供給する方法などについて、実験により高効率化を実証した結果が報告された。

数値シミュレーションに関しては、以前から大規模化が進んできていたが、PICによる 3 次元シミュレーション解析が多く報告されていた。個人開発のコードによる解析は少なくなり、開発・整備・利用者ケアが組織的に行われている OSIRIS [4] や EPOCH [5] の利用が多いのも特徴であった。

(原稿受付：2016 年 7 月 19 日)

参考文献

- [1] <https://kuleuvencongres.be/eps2016>
- [2] <http://ocs.ciemat.es/EPS2016PAP/html/>
- [3] 長谷川裕記 他：プラズマ・核融合学会誌 **92**, 240 (2016).
- [4] <https://plasmasim.physics.ucla.edu/codes/osiris>
- [5] <http://www.ccpp.ac.uk/>