

## ■会議報告

### 第40回 European Physical Society Conference on Plasma Physics (EPS)

田村直樹(核融合研) 中村浩隆(Imperial College London)  
岡本 敦(東北大)

2013年7月1日から5日までフィンランド・エスポー市において、欧州物理学会のプラズマ物理分科会が開催された。エスポーは首都ヘルシンキに隣接する市で、エスポーでもヘルシンキに近い郊外に位置するアアルト (Aalto) 大学の建物で会議は行われた。そのため、ヘルシンキ市内に宿泊して路線バスで会議へ通うことが可能となっており、前夜レジストレーションやカンファレンスディナーもヘルシンキ市内で行われた。

開会式では、フィンランド雇用経済産業省副大臣 Herkko Plit 氏が挨拶中で“Fusion, its importance…”と発言し、核融合エネルギー実現への期待を込めたメッセージが印象的であった。プログラムは基調講演を除いて(1)磁場閉じ込め核融合、(2)ビームプラズマと慣性核融合、(3)低温プラズマ、(4)基礎・宇宙プラズマの4つの分野に分類され、口頭発表は4会場で並行して行われた。また、プラズマ計測に関するサテライト会議が本会議終了後に開催され、うち一部は本会議中に講演が行われた。会議全体の発表件数は登録件数ベースで676件にのぼった。分野ごとの発表件数では(1)磁場閉じ込め核融合が大半を占め、分野ごとの割合は72件の口頭発表で3:1:1:1、495件のポスター発表で7:1:1:1程度であった。全70件の基調講演と招待講演は各分野から均等に選ばれていた。

全アブストラクト(<http://ocs.ciemat.es/EPS2013ABS/html/index.html>) および基調講演・招待講演を除くプロシーディングス(<http://ocs.ciemat.es/EPS2013PAP/html/>) はそれぞれのURLから閲覧することができる。今回は2014年6月23日から27日にかけてドイツ・ベルリンで開催される。

#### ・磁場閉じ込め核融合プラズマ

磁場閉じ込め核融合分野に関する発表件数は398件(うち招待講演18件、口頭発表36件、ポスター発表344件)であり、全体のおよそ6割を磁場閉じ込め核融合分野が占めることとなった。同会議の名称から制御核融合の文字が消えてから久しいが、同会議において依然として磁場閉じ込め核融合分野による発表が主体であることを感じた。それぞれの講演では、ヨーロッパを中心として世界各国の大型環状高温プラズマ閉じ込め装置や小型直線装置などで得られた実験結果や理論・シミュレーション結果が発表された。全体の印象として、プラズマ壁相互作用や不純物に関する発表が目立っていた。これは、プラズマ対向壁を炭素からタングステン、そしてILW (ITER Like Wall: 第一壁をベリリウム、ダイバータ部をタングステンとするITERでのプラズマ対向壁仕様を模した対向壁)へ変更した実験装置からの研究結果が出揃いつつあることで、それらに関する包括的かつ個別的研究が大きく進展しつつあるためと感じた。以下で、特に印象に残ったいくつかの講演について紹

介する。

A. Hakola (VTT, フィンランド) はプラズマ対向壁への容器内物質の堆積過程について、 $^{13}\text{CH}_4$  や  $^{15}\text{N}_2$  といった同位体トレーサースガスを使った ASDEX Upgrade トカマク及び JET トカマクでの実験結果、それらと様々なコードを組み合わせたシミュレーションとの比較結果について報告した。その結果、プラズマ対向壁位置から入射の場合は3次元の取り扱いが重要であること、ダイバータ位置からの入射の場合は再損耗及び再堆積を十分考慮する必要があることが示された。A. Kallenbach (マックスプランクプラズマ物理研究所, 独) は、ASDEX Upgrade トカマクにおけるダイバータ熱負荷軽減のための放射パワー増大を志向した不純物ガス注入実験の結果について報告した。具体的には、クリプトンガスと窒素ガスの2種同時フィードバック制御入射により、コア部および周辺部それぞれの放射パワー制御が試みられた結果について報告がなされた。現在、ダイバータ熱負荷軽減の方策の一つとして、snowflake (雪片) 形状の新しいダイバータ配位が提案され、実験的検証が進められている。TCV トカマクにおける実験結果を H. Reimerdes (スイス連邦工科大学ローザンヌ校, スイス) が、DIII-D トカマクと NSTX 球状トカマクにおける実験結果を V.A. Soukhanovskii (ローレンス・リバモア国立研究所, 米) がそれぞれ報告し、同配位の優位性が示された。DT 核燃焼プラズマへの展望を検討する上で輸送、すなわち乱流に対する同位体効果について知見を得ておくことは非常に重要である。Y. Xu (Ecole Royale Militaire/Koninklijke Militaire School, ベルギー) は TEXTOR トカマク、TJ-II ステラレーターそれぞれのプラズマにおいて軽水素/重水素比を変化させた時の局所乱流およびその長距離相関特性の変化について調べた結果を報告した。TEXTOR トカマクでは、重水素が優勢なプラズマにおける長距離相関の相関度及び相関長は軽水素が優勢なプラズマの場合と比較してどちらも増大していることがわかった。一方、TJ-II ステラレーターではそのような結果は得られておらず、この違いは T.H. Watanabe (核融合研) らがシミュレーションで示したように帯状流の減衰の様相の違いによって説明されるであろうとの考えを示した。最終日には、D. Campbell (ITER 機構, 仏) により ITER の最新のスケジュールと最近の研究を踏まえてまとめられた重要となる物理課題が紹介され、会議の主体がやはり磁場閉じ込め核融合分野であることが印象づけられた。(田村)

#### ・慣性核融合・ビームプラズマ

現在、欧州では慣性核融合に関して High Power laser for Energy Research project (HiPER) が進行中であるが、本会議では HiPER に関連した発表は見られなかった。一方、D. Hinkel (ローレンス・リバモア国立研究所, 米) 等によって、米国立点火施設 (National Ignition Facility, NIF) や OMEGA レーザーでの最近の実験結果が報告された。これまで通常使われてきた円筒形状のホーラムでは爆縮プラズマの形状が楕円形になり、点火に至る十分な密度と温度を達成できていなかった。しかし、ホーラムの形状をラグ

ビーボール形状に変えることで球体状の爆縮プラズマが生成され、中性子発生数が20-30倍改善されたと報告された。

このラグビーボール状ホーラムを用いた場合のシミュレーションの結果と今後の実験計画についても報告され、より高密度、高温の爆縮プラズマの達成が期待されている。

慣性核融合以外では、産業応用を睨んだイオン加速についての報告が依然盛況であった。Target Normal Sheath Acceleration (TNSA), Radiation Pressure Acceleration (RPA), Collisionless Shock Acceleration (CSA), Break-out Afterburner (BOA) 等の加速方式に関する報告が数件ずつあり、それぞれの方式で問題点の改善が報告された。その中で特に目を引いたのは M. Roth (ロスアラモスの研究所, 米) による BOA 加速によって生成された重水素イオンビームを利用した中性子源に関する報告である。レーザーにより 60 MeV まで加速された重水素ビームを<sup>9</sup>Be コンバーターターゲットに照射することで 200 MeV 以上のエネルギーを持つ中性子の生成に成功していた。また、M. Murakami (阪大) によってカーボンナノチューブ (CNT) を利用した陽子加速に関するシミュレーション結果が発表された。CNT をターゲットとして利用したクーロン爆発加速により単色エネルギーをもつ指向性の高い陽子ビームが実現できることを示唆しており、産業応用の観点から見て魅力的なビームの実現が期待できる。イオン加速以外でのビーム物理に関する発表では、G. Sarri (Queens 大 Belfast, 英) によりレーザー生成ポジトロンビームに関する実験結果が報告され、指向性の高い数十フェムト秒のパルス幅を持つポジトロンビームの観測を実現されており、今後コンパクトなポジトロンソースとしてレーザー駆動ポジトロンを利用することが期待される。(中村)

#### ・低温プラズマおよび基礎・天体プラズマ

それぞれ多様な分野をカバーするトピックであり、発表件数は比較的少ないながらも様々な話題が提供された。低

温プラズマのセッションでは、ダストプラズマに関する発表は比較的少なく、放電物理にまつわる基礎的・応用的発表が多い印象を受けた。基礎・天体プラズマのセッションは乱流・リコネクション等の現象をより詳細に理解しようとする雰囲気強く感じた。

宇宙プラズマ関連では、宇宙空間の磁場生成にまつわる話題が招待講演を中心に幅広く展開されていた。K.E. Kunze (Salamanca 大, スペイン) は、現在の磁場強度はダイナモ効果で種磁場が増幅された結果として説明できるとし、種磁場の起源を cosmic microwave background の観測により見出した。T. Grismayer (IST, ポルトガル) らは、磁場生成における速度シアの効果について論じた。G. Giacinti (オックスフォード大, 英) らは TeV-PeV 領域宇宙線の等方乱流場中の非等方拡散について論じた。太陽風や磁気圏に見られる非熱的イオンの輸送について A. Bovet (スイス連邦工科大学ローザンヌ校, スイス) らは TORPEX 装置を用いた実験と数値計算により非拡散的輸送の効果を指摘した。磁気リコネクションについては電子スケールの重要性が W. Daughton, T.P. Intrator (ロスアラモス国立研究所, 米) らの招待講演を中心として幅広く展開された。大気圧程度の非平衡プラズマの自己組織化に関する J.P. Boeuf (トゥールーズ大, 仏) の基調講演では、大気圧窒素への収束マイクロ波入射による放電時のフィラメント形成、および、誘電体バリア放電におけるパターン形成を例に、実験と理論の両面から説明がなされた。プラズマ乱流に関しては Y. Nagashima (代理 A. Fujisawa, 九大) らの招待講演で、局所的輸送特性と大域的輸送特性の相違および非局所エネルギー輸送について実験・解析手法の進展を踏まえて論じられたほか、様々な発表があった。反水素の閉じ込めに関して W. Bertsche (コッククロフト研究所/マンチェスター大, 英) により ALPHA 実験の進展が報告されていた。(岡本)

(原稿受付: 2013年8月6日)

## ■会議報告

### 19th IEEE Pulsed Power Conference (PPC) および 40th IEEE International Conference on Plasma Science (ICOPS)

高杉恵一 (日本大学), 菊池崇志 (長岡技術科学大学)  
山家清之 (新潟大学)

2013年6月16日から21日の6日間、米国サンフランシスコにおいて PPS 2013 が開催された。この会議は 19th IEEE Pulsed Power Conference (PPC) と 40th IEEE International Conference on Plasma Science (ICOPS) の共同開催である。少なくとも900人以上の参加者があり、月曜から金曜の朝8時から夕方5時半まで、6つの会場に分かれて発表と活発な議論が行われた。

会議の話題は次の9つの領域に分類されていた。

1. Fundamental Research and Basic Processes
2. Microwave Generation and Plasma Interactions

3. Charged Particle Beams and Sources
4. High Energy Density Plasmas and Applications
5. Pulsed Power Switches and Components
6. Industrial, Commercial, and Medical Applications
7. Pulsed Power Sources
8. Pulsed Power Systems
9. Diagnostics

表1に領域別の発表件数を示す。特に目立つのは、3.5.7.8.といったパルスパワーの技術的な話題の多いことである。また、2.もバーカトルや大電力ジャイロトロンなど、パルスパワーに関連した話題が多い。1.には宇宙プラズマやダストなども含まれるが、話題の多くが大気圧放電中の基礎過程を扱ったものである。

オープニングで米国海軍研究所の T.A. Mehlhorn 氏によるパルスパワーに関する全体講演が行われた。パルスパワーの歴史と現状の紹介、そして今後の発展について述べられた。

Erwin Marx 賞を受賞した Emergent Power Solutions

表1 発表件数とその分類.

Technical Area	Oral	Poster	Total
1. Basic	60	43	103
2. Microwave	73	76	149
3. Beam	39	35	74
4. HEDP	64	67	131
5. Switch	47	58	105
6. Application	103	139	242
7. PP Source	23	35	58
8. PP System	34	38	72
9. Diagnostics	23	30	53
Total	466	521	987

LLC, I.R. McNab 氏による全体講演が行われ、大規模なパルスパワー応用への期待について述べられた。その中で、2~3 km の長距離レールガンを用いた宇宙への直接打ち上げ計画などが紹介された。

Linear Transformer Driver (LTD) はモジュール化された誘導電圧重畳装置であり、サンディア研究所や CEA (仏国原子力・代替エネルギー庁) において MA クラスの LTD を用いたパルスパワー電源の開発が進められている。長岡技術科学大学からは半導体スイッチング素子を用いた全固体 LTD によるパルスパワー電源が紹介された。

高エネルギー密度プラズマの領域ではレーザー生成プラズマの報告がほとんどなく、Z ピンチに関するものが大部分であった。Z ピンチもマルチワイヤーに関するものが減少していた。サンディア研究所の Z 装置やコーネル大の COBRA などの大型装置でガスバフ Z ピンチの実験が報告された。Ar イオンの K 殻放射 (>3 keV) のエネルギーが 400 kJ にもなっていた。レーザー誘起蛍光法によるガス分布の計測や、時間分解の X 線分光測定など詳細な計測が行われていた。X 線バックライターの用いたシャドウグラフ計測では、湾曲結晶を用いて分光することにより、プラズマからの X 線ノイズをほぼ完璧に抑えた計測を行っていた。

パルスパワー放電の産業応用・生物応用は今回の会議の重要なテーマになっている。この領域ではほとんどの発表が大気圧プラズマを扱ったものである。パルスパワーを用いた水処理や殺菌・消毒といったことは既に盛んに研究されている。また、大気圧プラズマジェットが容易に手に入るようになっている。19世紀の美術品にプラズマジェットを当てて、その劣化を修復した例が紹介された。

熊本大学ではイースト菌にパルスパワーを加える研究を行っていた。まずは細胞を死滅させる限界を測り、その上で、DNA を変性させて突然変異が起きることを期待しているようである。コハクは樹液の化石で、その発色によって価値が大きく変わる。コハクにパルスパワーを加えるこ

とにより、コハクの色を変化させる実験を行っていた。

バイオマスは生物によって生成されるエネルギー資源である。微生物の細胞中に生成されたバイオマスを抽出するため、パルスパワーを利用することが考えられている。パルス電圧を加えることによって、細胞膜の破壊、乾燥といったことが行われる。純粋にパルスパワーだけで処理するのは経済的でなく、他の方法の併用も考えているようである。

最終日の全体講演でローレンスリバモア研究所の C.J. Keane 氏の講演があった。National Ignition Facility (NIF) では 1.8 MJ, 500 TW のレーザーシステムを作り上げ、ホーラム温度 330 eV が達成され、面密度  $\rho R \sim 1.3 \text{ g/cm}^2$  が得られた。その先が聞きたかったところであるが、あとは年次報告を見てくれということで、どうも歯切れが悪かった。

バンケットにおいて熊本大学の秋山秀典氏の表彰式が行われた (図1)。秋山氏が受賞したのは Leon K. Kirchmayer 大学院教育賞で、優れた教科書を作成し、多くの大学院生を輩出したことが認められたものである。会議の中で核融合の分野でよく知られた I. Alexeff 氏と C.K. (Ned) Birdsall 氏の追悼講演が行われた。改めて哀悼の意を表したい。Birdsall 氏はプラズマの数値シミュレーション手法としてよく用いられる Particle-in-Cell 法で多大な功績を上げられたが、その記念セッションで Birdsall 氏の思い出も交えて粒子コードの歴史と発展について紹介がなされた。次回の ICOPS は 2014 年 5 月 25-29 日にワシントン DC において BEAMS 2014 と共催の予定である。なお、会議の情報収集には長岡技術科学大学の林亮太氏と安西信幸氏にご協力いただいた。(原稿受付: 2013 年 7 月 10 日)



図1 秋山秀典氏の表彰式.

## ■会議報告

### The 21st International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC-21)

高奈秀匡 (東北大学流体科学研究所)

田中康規 (金沢大学理工研究域)

2013年8月5日から8月9日までの5日間、標記のISPC国際会議がオーストラリア・ケアンズの Cairns Convention Centre で開催された。ケアンズは、オーストラリア北東部に位置する。ケアンズにはグレートバリアリーフ(大堡礁)と呼ばれる世界最大の珊瑚礁地帯があり、世界遺産である。

この会議は2年に1度の割合で開催されており、プラズマ化学に関する非常に広範な分野がカバーされている。今回のISPC-21では、プラズマ基礎物理・診断のほか、熱プラズマ、大気圧非平衡プラズマ応用、液中プラズマ、プラズマ医療など、13トピックが設定された。

今回、基調招待講演は6件、各トピックに対する招待講演が12件あった。一般口頭発表は126件、一般ポスター発表は194件であった。このポスター発表講演数は、前回ISPC-20の件数(一般口頭発表142件、一般ポスター発表392件)と比較して非常に少なく半分以下となった。近年プラズマ関係の国際会議が細分化されていることや、特に欧州からの参加者が少なくなっていることから欧州からの地理的な距離が大きな原因と考えられる。

基調招待講演6件のうち2件の日本人研究者による報告であり、畠山力三氏(東北大学)から非平衡プラズマを用いたナノカーボンへの先進的応用について、渡辺隆行氏(九州大学)から熱プラズマプロセッシングの最新研究についての発表があった。一方、Plasma Chemistry AwardはProf. Michel Wertheimer (Canada) に授賞された。Prof. Wertheimer は非平衡プラズマを用いたポリマー表面改質に尽力されてきた。受賞基調講演は、Webによるモントリオールからの遠隔講演であったが、ポインタなどを使用したわかりやすい講演であった。

一般口頭発表では、プラズマ医療の口頭発表18件が2日間にわたって発表されるなど、同分野の発表件数が増加したことが今年の特徴である。この傾向は前回から続いており、本分野に非常に強い関心が寄せられていることが伺える。一方で、マイクロ放電・マイクロプラズマの講演は激減し、口頭発表・ポスター発表合わせて5件であった。

「プラズマ応用」からの視点でISPCを見た場合、大気圧非平衡プラズマを用いた医療応用が特に目立った。大気圧非平衡プラズマを照射した後の細胞やDNA損傷の調査(Dr. Grahamら)のほか、プラズマにて生成される化学種の診断(Dr. Gansらなど)や水の蒸発を考慮した水蒸気含有空気プラズマにおける活性酸素の生成を含む反応場数値解析(Prof. Kushnerら、浜口智志氏(大阪大学)らなど)などが報告された。

筆者の一人は熱プラズマが専門であるため、以下に熱プラズマについて報告する。熱プラズマのモデリング・診断技術の発表においては、特に大きな目新しいものはなかった。数値解析においてはいずれも、これまでに開発された

モデルを使用して、ナノ粒子やナノカーボン生成を含む3次元熱プラズマ熱流体場を数値解析した結果や、3相アークの3次元熱流体解析結果が発表された。実験的なアプローチとしてはナノ粒子、ナノカーボン生成に関するものが多く、それらは前回と大きな差はない。筆者らの一人は熱プラズマを制御して圧倒的に大量にナノ粒子を生成する技術、これまでの円筒型RF熱プラズマでなく平面型RF熱プラズマを作る技術などを報告した。熱プラズマを医療に応用する例としては、以前から血液凝固に使われているが、Prof. Mostaghimiらは木材に銅膜をコーティングし、菌繁殖の抑制に使用することを発表していた。

低温プラズマに関しては、ナノパルス放電による反応性プラズマ生成および燃焼促進、燃料改質、環境浄化、医療への応用等の発表が多くあった。基礎分野においては、ナノパルス放電により生成される液体中のストリーマ進展過程および高活性種の生成特性(橘邦英氏ら、佐藤岳彦氏ら)のほか、ピコ秒時間分解CARSによるナノ秒パルス放電でのエネルギー輸送過程の解明(Prof. Adamovichら)、ナノパルス放電中のOHラジカルの動的挙動(Prof. Bruggemanら)に関する発表があった。プラズマ燃焼促進に関する報告では、量子カスケードレーザー吸収分光法によるプラズマ燃焼促進における窒素酸化物および一酸化炭素の生成特性評価(Prof. Lauxら)やメタンの低温酸化反応に与える一重項酸素 $O_2(a^1\Delta_g)$ の効果(Prof. Deminsky)等があった。メタン・空気予混合気中でのナノパルス放電においては、電極間隔を狭くし、低周波数、低電圧の下で放電を行うことにより、希薄燃焼化においても窒素酸化物の生成を抑制することができることが報告された。著者の一人は、内燃機関プラズマ燃焼促進のための高温・高圧下におけるナノパルス誘電体バリア放電構造および気体加熱メカニズムに関する二次元数値シミュレーション結果に関して報告した。プラズマ環境浄化に関しては、ミスト化した処理液を誘電体放電部に輸送し、その場で処理液中の難分解性有機物を分解・除去する技術(西山秀哉氏ら)や、誘電体バリア放電により二酸化炭素を一酸化炭素と酸素とに分離する技術(Prof. Bogaertsら)に関する実験および解析結果の報告があった。



図1 基調招待講演にて革新的なナノ科学へのプラズマ応用の成果を講演される畠山力三氏(東北大)。

今回の ISPC-22はベルギーで開催される。ISPC-21のブ  
ロシーディングは、大阪電気通信大学の橘先生のご尽力で  
今回のもの・過去のものも含めて以下の URL に公開され

ている：<http://www.ispc-conference.org/>

(原稿受付：2013年8月27日)



## インフォメーション

### ■人事公募

#### 大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻

1. 公募人員：助教 1名
2. 所 属：先進電磁エネルギー工学講座（プラズマ生成制御工学領域）
3. 研究内容・専門分野：核融合プラズマ閉じ込め装置におけるエッジプラズマと対向材料を含む複合系の物理・化学現象に関する実験・シミュレーション研究を担当する。国内外の共同研究に積極的に参画し、学生の教育・指導に熱心に取り組む方を希望する。
4. 応募資格：着任時に博士の学位を有していること
5. 着任時期：採用決定後できるだけ早い時期（任期については、お問合せ下さい）
6. 応募書類（各1部）：
  - (1)履歴書（写真添付，着任可能時期を明記）

(2)研究業績リスト

(3)主要論文の別刷

(4)これまでの研究業績の概要（A4版2枚以内）

(5)着任後の教育と研究の抱負（A4版2枚以内）

(6)応募者について意見を述べられる方2名の氏名及び  
連絡先

7. 選考方法：書類審査と面接

8. 応募締切：平成26年1月31日(金)必着

9. 応募書類送付先（問い合わせ先）：

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1

大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻

先進電磁エネルギー工学講座 上田良夫

TEL&FAX：06-6879-7236

Email:yueda@eei.eng.osaka-u.ac.jp