



■会議報告

38th IEEE International Conference on Plasma Science (ICOPS) および24th IEEE Symposium on Fusion Engineering (SOFE)

大阪大学レーザーエネルギー学研究センター 藤岡慎介

2011年6月26日から6月30日まで米国イリノイ州シカゴ市郊外にあるハイアットリージェンシー・マコーミックプレースにて、ICOPS/SOFEが同時開催された。会場はダウンタウンからバスで20分ほど離れており、ホテル周辺にはレストランおよびマーケットがほとんどなく、いささか不便であったが、網目状に張り巡らされたバス路線を利用すれば、ダウンタウンやチャイナタウンに安く移動できるのはありがたかった。近くに出張する機会がある方には、Chicago Transit Authority (CTA) が旅行者向けに販売しているビジターパスをオヘア空港で購入することをお勧めしたい。

ICOPSまたはSOFEの一方の会議に参加登録すれば、両方の講演を自由に聴講できるという仕組みであり、様々な分野の発表が聞けるように工夫されていた。ICOPS/SOFEの合同プレナリー講演では、米国の国家安全保障における高エネルギー密度科学の重要性、次世代半導体製造用の極端紫外リソグラフィの開発、後述する中国におけるエネルギー開発動向が取り上げられた。

発表件数はSOFEが231件、ICOPSが534件であった。著者の専門は慣性閉じ込め核融合研究であり、かつSOFEに登録したことから、偏った報告になることをあらかじめご容赦頂きたい。SOFEの招待講演プログラムは、各国の核融合実験装置の成果報告で構成されていた。ITERから始まりNIF(米国)、Wedelstein 7-X(独国)、JET(欧州)、JT-60SA(日本)、KSTAR(韓国)、T-15(露国)、LHD(日本)、GEKKO-LFEX(日本)、Nike(米国)、Z(米国)、EAST(中国)、SST-1(印国)、MAST(米国)、NSTX(米国)、ASDEX(独国)、DIII-D(米国)、ToreSupra(仏国)と、磁場閉じ込め、慣性閉じ込め型の主要な核融合実験装置が勢揃いであった。ちなみにT-15については発表がキャンセルされた。磁場閉じ込め分野には世界各国に実験装置があり、加えてITERという核があるため、研究者および実験装置が往来する非常に密な国際連携が実現されているのが印象的であった。

慣性核融合研究の進展について報告する。最初にNIFの点火実証キャンペーンの進捗が簡単に紹介された。点火に必要な輻射温度が達成され、流体不安定性の影響を考慮しない爆縮シミュレーションの予測に比して約17%の核融合中性子の発生が得られ、燃料を圧縮の微調整が行われ、調整前と比べ50%の圧縮改善を達成したことが報告された。ターゲット利得1の達成は2012年の秋冬頃と発表され

た。続いて間接照射型レーザー核融合を用いた核融合発電炉(LIFE)の概念設計について報告された。電力事業者の要求に応えるために、発電コスト、建設の頻度とコスト、許認可の容易さ、信頼性・可用性・メンテナンス性・検査性、施設稼働率、計画停止と迅速な再起動、資本保護、市民による許容、導入時期などを決定要因に据えて検討を行っている。10年単位で核融合中性子負荷に耐えられる材料が存在しない現状と、2050年までに核融合発電の導入を間に合わせねばならない(Timely delivery)という状況を踏まえ、最も材料への負荷の大きい炉チャンバーを一年単位で入れ替えるという大胆なアイデアが目をつけた。炉チャンバーを使い潰しながら、それ以外のシステムの完成度を高め、適切な炉用材料が開発された段階で発電プラントとして完成させる。レーザー核融合発電システムにおける各コンポーネントの独立性を生かした戦略と感心させられた。

大阪大学はGEKKO-LFEXレーザーを使った高速点火レーザー核融合研究の進展を報告した。世界最大のペタワットレーザーであるLFEXレーザーを用いて加熱効率20%が達成されたことを報告し、高速点火方式による点火実証に向けた大きな一歩であると評価された。

米国海軍研究所(NRL)は、レーザー核融合用ドライバー候補である大出力KrFレーザーの開発状況を報告した。KrFレーザーと衝撃波点火を組み合わせれば500kJでターゲット利得100が達成可能であることが、二次元流体シミュレーションで示された。核融合発電炉に向けて、KrFレーザー励起用の全固体パルスパワー発生器が300Mショット以上の繰り返し運転に耐えられたこと、大面積のカソードが開発され大面積電子ビームを使って大口径レーザーを安定に励起できること、ガス流を制御することでレーザー発振時に発生するKrFレーザー増幅器内のガスの温度・密度乱れを繰り返し時間間隔内に回復できること、KrFレーザーの電気-レーザー変換効率が7%に達することが示され、248nmのレーザー波長ではレーザー-プラズマ不安定性が抑制されることを加味すると、KrFレーザーが最も魅力的であると結論づけられた。NRLはHigh Average Power Laser (HAPL)プログラムとして、国立研究所、大学、産業界から研究者を集め、直接照射方式による核融合エネルギー開発を推進している。

サンディア国立研究所からはZピンチ核融合方式を用いたエネルギー発生炉の概念設計が報告された。円筒状のライナーに電流を流しピンチさせ、核融合燃料を圧縮し核融合出力を得る。ピンチ電流が大きいほど、電気から核融合燃料にエネルギー変換される割合が大きくなるため、ピンチあたりの核融合エネルギーを26GJと大きくして、その代わり繰り返しを0.1Hzに下げている。サンディア国立研究所の別の発表では、核融合燃料と同時に磁場も慣性力で

閉じ込める磁化慣性核融合が報告された。強磁場中ではアルファ粒子の閉じ込め長がラマ半径に置き換わる。磁化慣性核融合では、対数スケールで慣性核融合と磁場核融合の点火密度の中間に位置する 10^{21} cm^{-3} で点火を見込めるのがメリットである。高密度を達成するには巨大なパルスパワー装置が必要で建設コストが高くなり、低密度プラズマからエネルギーを取り出すためには大きな閉じ込め容器が必要で建設コストが高くなる。磁化慣性核融合プラズマの点火領域はコストが最小値になる密度であるため装置コストが安いと結論された。キセノンのプラズマ銃でDT燃料と磁場を圧縮し、磁場強度が 100 T、プラズマ密度が 10^{21} cm^{-3} 、燃料直径が 5~10 cm に達したところで核融合点火が起こる。設計ではパルスあたり 300 MJ の出力が得られ、1 Hz 運転で 300 MW の核融合出力が得られると報告された。ICOPS では NIF における中性子計測器の開発、General Atomics 社による慣性核融合用ターゲットの大量製造、高速点火に関連する相対論的電子ビームの固体中での伝搬なども報告された。

勢いを感じたのは Jiangang Li 氏による中国のエネルギー開発動向に関する発表であった。米国が一人あたり 10.5 kW、欧州が 5.2 kW、日本が 6.3 kW のエネルギーを消費しているのに対し、中国は 1.5 kW、インドは 0.7 kW に過ぎない。今後の経済成長を考えると中国およびインドは、他のどの国よりも大規模エネルギー源の開発が喫緊の課題である。第四世代炉、高速増殖炉、高温ガス炉の開発に加え、原子炉廃棄物の消滅処理の為に加速器型中性子源による未臨界炉の開発、その中性子源を Z ピンチまたはレーザー核融合炉に置き換える計画など、何でもやるというプレゼンテーションは圧倒的であった。核融合エネルギーは長期的に重要なエネルギー源であり、中国政府のトップから市民に至るまで幅広い層から支持されており、中国は核融合エネルギー開発者にとって正に楽園と言える状況であ

る。Li 氏は核融合エネルギー開発をやりたい優秀な研究者は是非中国に来てくださいと半ば本気の冗談を飛ばしていた。核融合エネルギー開発のためには新たに 2000 人の優秀な研究者の育成が必要で、国内の核融合実験装置の活用、ITER への若手研究者・学生の派遣、国際的な共同研究の実施を通じた教育プログラムを立ち上げるとのことである。

初日の夕方に“Accelerating the Development of Fusion Power”と題してタウンホールミーティングが開催された。核融合研究者が核融合エネルギーの必要性を訴えるだけでは不十分で、核融合エネルギーの必要性を外部が求める状況を作らなくてはいけない。核融合研究者は、その声があがった時に、いつまでいくらでできるのかを答える準備を怠らないことであると指摘された。また、核融合エネルギー開発における最大のリスクは炉心プラズマでは無く材料であるという発言は、プラズマ中心の会議では滅多に聞けない的を射た発言であった。全般に心構えに関する議論に終始し、複数ある核融合方式を選択するプロセスにまで踏み込んだ議論が行われなかったのは残念であった。

世界各国での核融合原型炉開発に向けた取り組みを聞いたのは、著者にとって今回が初めてであり大変印象深かった。経済成長が鈍った日本・米国・欧州では大規模エネルギー開発へのデマンドは緩まっているが、中国・インドなど急激な成長を続ける膨大な人口を支えつつ地球温暖化を防ぐためには、核融合を含む原子力エネルギーの開発は不可欠であると思う。タウンミーティングの中で、「核融合エネルギー開発が本当に必要だと思うならば、核融合研究者自身がそのように振る舞いなさい」との発言があった。発言者の真意はわからなかったが、「研究者が自らの専門に固執せず、システム全体を俯瞰しながら、一番正しい選択をして研究しなさい。」という警鐘と私は受け止めた。

(原稿受付：2011年7月7日)



会議風景



宿泊したホテルから眺めた会議会場（マコーミックプレース）。一晩中、無人の廊下の電灯が明々とともされており、一人あたり 10.6 kW のエネルギー消費を痛感した。