



インフォメーション

■会議報告

第24回 IAEA 核融合エネルギー会議 (FEC)

長崎百伸(京大エネ理工研), 高橋幸司(原子力機構),
井手俊介(原子力機構), 打田正樹(京大エネ科),
政宗貞男(京都工繊大), 鈴木康浩(核融合研),
白神宏之(阪大レーザー研), 関 洋治(原子力機構)

標記会議が2012年10月8日-13日の6日間、米国サンディエゴのヒルトンホテルにて開催された。参加国数は52 (ITER 含む)、会議参加者は約900人、発表件数は633件 (米国191件, EU173件, 日本97件, 中国60件, 韓国34件, ロシア30件, ITER21件, インド16件, その他16件) であった。中国の EAST, HL-2A, 韓国の KSTAR の実験が本格化したこともあり、近年、両国からの発表件数が急激に増加している。トピックは、オーバービュー、磁気核融合実験・理論 (閉じ込め, 安定性, 波動・高エネルギー粒子, ダイバータ), ITER, 慣性核融合, 核融合工学・動力炉設計, 安全・環境・経済性, 革新概念など多岐にわたっている。初日には, “Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion” や “An Indispensable Truth” の教科書で知られている Francis Chen 氏 (米国) が Keynote Presentation を行った。これまでの核融合研究の歴史を振り返りながら, 核融合研究の初期に計画された「マッターホルン計画」にちなんでマッターホルンの山を見せつつ, 我々が現在居る位置, そして, 今後の方向性について意見を述べたのが印象的であった。国際熱核融合実験炉 ITER の建設が進んでおり, それに合わせて ITER 機器開発や実験結果に関する話題が多くあった。最終日午後に Summary Session があり, 各セッションの総括が行われた。前々回の会議から創設された Nuclear Fusion Award は, 今回, 浦野創氏 (原子力機構) と P. H. Diamond 氏 (UCSD/NFRI) が受賞した。次回は, 2014年10月13-18日にロシア・サンクトペテルブルクにて開催予定である。以下に本会議における各分野の発表内容の概要について報告する。(長崎百伸)

ITER

ITER Activity として本島修機構長による ITER のオーバービュー, オーラル・ポスターを併せ95件の発表があった。137ある機器などの調達 (Procurement Arrangement) のうち約6割が完了し, 真空容器やコイルなどの主要機器のモックアップ, あるいは, 実機製作が進められている。主に真空容器のポート類を担当する韓国より, 調達活動に基づく設計・製作性検討のためモックアップ製作についての報告がなされた。6カ国におけるコイルシステム開発を代表し, 日本 (原子力機構) からマグネットシステム R&D の進捗について報告がなされた。トロイダルコイル用導体の約3割の製作が完了, ラディアルプレートのフルサイ

ズモックアップ製作の成功などの進展がみられた。ブランケットについては, ファーストプラズマ時には設置されず設計が遅れている印象があるが, 設計・製作の検証プログラムの一環として実施しているモックアップ製作・熱負荷試験は進められており, 2013年中の最終設計レビュー, その後の製作開始という計画であるとの報告がなされた。ダイバータについては, 建設当初からフルタングステンダイバータを設置する方針が示されたばかりではあるが, ITER 機構の設計に基づくモックアップ製作, 熱負荷実験といった製作技術の検討を行うための R&D が進行中である。プラズマ加熱・電流駆動に不可欠な ECH・NBI それぞれについては次のような進捗がみられた。ECH については, 出力 1 MW, パルス幅400秒以上という ITER 仕様を満足する性能を実証したジャイロトロン (2機) の開発の成功 (ロシア) と, 170 GHz/137 GHz を選択的に発振可能な2周波数ジャイロトロンと水平ポートに設置するアンテナの機器開発 (いずれも日本) について報告され, ファーストプラズマ時の設置に向けた機器開発が着々と進められている。NBI についても加速器の ITER 仕様をほぼ満足する 1 MV・185 A/m² の負イオンビーム生成に成功したとの報告が原子力機構からなされた。長パルス運転での熱負荷などの課題はあるが R&D の進捗が伺える。計測機器については, 原子力機構よりトムソン散乱計測用レーザー開発において ITER 仕様を上回る出力 7.66 J, 繰り返し周波数 100 Hz, 766 W の YAG レーザー開発の成功について報告がなされた。ITER の発表分類におけるプラズマ実験関連の報告としては, ELM 制御 (DIII-D, ASDEX-U など), プラズマ運転制御 (DIII-D) などに関する発表がなされた。また, ペレット入射に加え ELM 制御用コイルの設計現状について ITER 機構より報告があった。(高橋幸司)

トカマク

ITER に向けた研究成果を中心に多数の発表が行われた。その ITER からは, 本島機構長から計画の進捗状況や各主要コンポーネントのデザインや制作の現状について報告があった。完成した本部ビル内外の写真も紹介され, 計画が着実に実現されてきていることを実感した。トカマク実験の中で特に注目されたのは JET (欧州) の ILW (ITER Like Wall) の実験結果である。JET では, プラズマ対向壁材を ITER と同じく第一壁材をベリリウム, ダイバータ材をタングステンにし, 昨年9月より ILW として実験を開始したものである。ITER では当初炭素材ダイバータで実験を開始する予定であったのを, 実験開始時からタングステンダイバータを実装するオプションが議論されているところであり, その決定に ILW 実験結果が大きな判断材料になると考えられているため関心が高い。金属材料をプラズマ対向面に用いるメリットは, 第一にプラズマ対向材料への

トリチウムのリテンションが少ないと期待される点である。JETのILW実験では、確かに重水素のリテンションは炭素壁の時に比べ桁程度低く、期待した結果が得られている。また、プラズマの着火についても問題がないことが報告された。一方、タングステンドライバーではタングステンのプラズマ中への混入が懸念されていたが、ILW実験ではやはりこのタングステンのプラズマコアへの蓄積が問題となっていることが報告された。タングステンの蓄積は多量的气体パフを行うことによりSOLプラズマを冷やしてタングステンの発生を抑えることで避けることができていた。しかし多量的气体パフを行うとプラズマの閉じ込め性能が劣化するため、通常のHモードでは炭素壁の場合に比べて閉じ込め性能が7-8割程度にとどまってしまう。加熱パワーを増大させた場合や窒素をパフした場合、あるいはハイブリッド運転では炭素壁実験に近いあるいは同程度の閉じ込め性能が得られており、さらに今後の実験に期待が持たれる。壁材料同様にITERで課題となるのがELM制御である。多くの装置でこの課題に取り組んでおり、関連する報告が行われた。ELM制御の手法は大きく分けて、ペレットによるELM周波数の制御とコイルによるELM抑制の二つがある。ペレットに関してはDIII-D(米国)、ASDEX-Upgrade(ドイツ)、HL-2A(中国)、KSTAR(韓国)等で実験が行われており、ITERに向けより多くの実績とデータが蓄えられてきている。コイルに関しても、DIII-D、ASDEX-Upgrade、KSTAR、MAST(英国)等から報告が行われ、こちらもペレット同様の進展が感じられた。ペレットやコイル以外に、JETでは垂直方向にプラズマを上下して(Vertical Kick)その周期でELMを誘発してELM周波数を制御する手法(JET)や、SMBI(Supersonic Molecular Beam Injection)によるELM抑制(HL-2A、EAST(中国)、KSTAR)の報告もあった。これらについても、有望な結果が得られており今後の検討が期待される。また、そもそもELMが出ないあるいはかなり小さい放電シナリオについても報告がされている；I-mode(Alcator C-Mod(米国))、QH-mode(DIII-D)。QH-modeはこれまでも報告されているが、よりITERに近いトロイダル回転の領域でも実現できることが示された。コアプラズマの性質に関しても種々の進展が報告された。JT-60U(日本)から、水素同位体による閉じ込め性能の違いの原因を初めて明らかにする報告が行われ、重水素H-modeでは軽水素H-modeに比べてイオン温度の特性長が明らかに短くなっていることが示された。ASDEX-Upgradeからは、電子サイクロトロン波入射によりトロイダル回転が減速することが報告され、その物理メカニズムについての議論があった。MHD不安定性に関しては、小半径の中間位置付近に吸収のピークを持つ中性粒子ビーム(NB)入射により、電流や圧力分布を最適化してより高い圧力限界をもつプラズマがDIII-Dで得られたことが報告された。JT-60UとDIII-Dから、壁なしの理想MHD安定性限界を超えたプラズマにおいて高速イオン駆動不安定性が発生しそれによりELMを誘発できることが報告された。周辺プラズマに関してもやはり、JETのILWに関連して水素同位体のリテンション

をはじめ多くの報告がなされた。SOLの厚みが小さくなる程ダイバータへの熱負荷分布のピーク値が大きくなることが懸念され、多数の装置での実験結果から装置が大きくなる程この厚みが小さくなることが報告された。一方、それ以外の効果もあるのでITERでもピーク熱負荷は懸念する程高くはないという報告もあった。今後のより詳細な検証が重要であると考えられる。

最初に書いたように、明確にITERを念頭に置いた報告がますます増えている。カダラッシュでの建設が進んでいる一方、プラズマ側で検討課題とされるものも残されているが、今回の多くの報告でそれらに対してより広くかつ深く取り組まれていることが見える。それぞれの課題について検討対象と方向性がITERに向け収束度が増しており、2年後の核融合エネルギー会議でどのような結果が報告されるか大いに期待される。(井手俊介)

ヘリカル系

ステラレータ/ヘリオトロン装置の実験研究については、まず、会議初日にLHDのオーバービューがなされた。周辺プラズマ制御のため、オープンヘリカルダイバータをバッフル閉構造にする改造が進められており、部分ダイバータであるものの閉ダイバータにおいて中性粒子圧力が開ダイバータよりも10倍高いことを実験的に示した。クライオポンプ付きの完全閉ダイバータ化を進めており、今後、粒子輸送の制御と閉じ込めの改善が期待される。また、ICRFによる壁コンディショニングを行い、リサイクリングを低減させるとともに、カーボンペレット入射によって7 keVを越える中心イオン温度を得た。この高Tiプラズマではスケーリング則の1.5倍のエネルギー閉じ込め時間が得られている。輸送解析によれば、高Tiプラズマではイオンの熱拡散とともにトロイダル粘性が抑制されている。3次元磁場構造の効果に関しては、共鳴摂動磁場によるELMの緩和、磁場の染み込み、ダイバータプラズマのデタッチメントが調べられた。また、径電場がストキャステック磁場の存在を同定するよい指標となることも示した。TJ-IIからはフローと閉じ込めのダイナミクスについての報告があった。低密度での遷移現象では新古典粘性が弱くなり、帯状流の観測を説明することができる。帯状流は無衝突減衰を受けるものの、両極性新古典電場がある場合には依然存在する。また、ドップラー反射計を用いて周辺領域の径電場分布を詳細に計測し、LH遷移条件近傍では帯状流と揺動は捕食-被捕食の関係となっていることを示した。低磁気シア・低トロイダル周期数の装置での高エネルギーイオン駆動MHD不安定性の特性について、低回転変換のHeliotron Jと高回転変換のTJ-IIの実験比較が行われた。実験と理論の比較から、低磁気シアではGlobal Alfvén Eigenmodeが主たる不安定性であること、高回転変換ではHelicity-induced Alfvén Eigenmodeが重要となることを示した。ECCDを用いた回転変換制御による高エネルギーイオン励起不安定性の抑制に関する実験も報告された。ドイツのW7-Xは装置建設が進んでおり、2014年に建設完了、2015年にプラズマ実験開始の予定である。

ヘリカル系・トカマクに共通する物理として、非局所輸送・非拡散輸送に関する実験・理論の取り組みがオーバービューで報告された。熱流束は揺動強度と勾配によって表現できるものの輸送を説明するためには不十分であり、例えば、SMBI 等による周辺摂動や遷移におけるメゾ安定状態では、密度・温度といった局所パラメータおよびそれらの勾配と粒子束・熱流束の間にある local closure の関係が破れる。遷移フェーズでは微視的スケール、メゾスケール、そして巨視的スケールの帯状流が観測されている。揺動の拡がり (turbulence spreading) や、揺動と帯状流の結合、微視的・メゾ・巨視的スケールの揺動の結合に関する理論モデルが進展しており、今後、定量的な実験検証が期待される。これに関連して、ECH パワー変調に対する揺動の応答をもとに、熱流束、勾配、揺動強度の新しい関係を導き出そうとする試みも報告されている。(長崎百伸)

球状トラス

球状トカマク研究に関する発表は、オーバービュー 2 件、口頭発表 10 件、ポスター 35 件、合計 47 件であった。前々回、前回会議に引き続いてこの分野での発表件数は増加しており、研究の進展を印象づけた。装置別では、米国 NSTX から 27 件、EU の MAST から 10 件、米国 Pegasus、ロシア Globus-M/M2 から各 2 件、中国 SUNIST、米国 LTX から各 1 件、国内からは QUEST から 2 件、TST、TS-3/UTST、LATE、HIST より各 1 件の発表があった。

NSTX 関連の発表では、次期装置 NSTX-U、さらには ST 型核融合科学施設 (ST-FNSF) や ST 型コンポーネント試験装置 (ST-CTF) へ向けて、低衝突度領域での高ベータプラズマの輸送や安定性、ディスラプション回避やダイバータ熱流軽減、完全非誘導運転に向けた研究成果の他、ペデスタル輸送、高速イオンのエネルギー・空間再分布と低周波数 MHD 等、多岐にわたる報告がなされた。低い電子衝突度における輸送や安定性について、規格化エネルギー閉じ込め時間 $B_t \cdot \tau_e$ は衝突度 ν_e にほぼ反比例するように増大しており、この傾向は Li 壁コンディショニングより得られた更に低衝突度の領域まで続いていることが示された。高い電子圧力の下ではマイクロテアリングモードが不安定であり、非線形のマイクロテアリング計算から低衝突度では電子熱輸送が低下することが示され、実験との一致が示された。高ベータプラズマの維持、ディスラプション回避については、改良された能動制御による RWM の安定化により、高い β_n/l_i 領域でのディスラプション率を 48% から 14% にまで減少させることに成功し、 $\beta_n > 6.5$ において、 $\beta_n/l_i > 13.5$ となるプラズマが達成されている。さらに β_n/l_i が 10 を越える領域で、再び安定度が増すという興味深い結果が示された。また、2006 年以降のすべての放電について、プラズマパラメータ空間 (β_n , l_i , q^* 等) でのディスラプション率を調べて危険な領域の統計をとり、計測と合わせたディスラプション警報アルゴリズムを作り高い成功率 (~98%) を持つことが示された。ダイバータについては、スノーフレイク型ダイバータを用いることで、定常時および ELM 時の熱流束を大幅に軽減できることが示され、次

期 NSTX-U においても引き続きこの方式をベースに研究することが報告された。NSTX-U 装置では、トロイダル磁場、プラズマ電流、加熱電力を倍増し、放電時間を 5 倍に拡大する計画であり、より低衝突度領域での高温、高ベータ ST をめざす。非誘導電流駆動率は現在 65% ($I_p = 0.7$ MA) であるが、NSTX-U では 100% の非誘導電流駆動の達成をめざす。

MAST 関連の発表では、ITER/DEMO、MAST-U へ向けた物理研究として、ELM 緩和、ダイバータ、ペデスタル安定性、L-H 遷移物理、高速粒子物理、NTM 等の報告があった。MAST では自由度の高いコイルセットを活用したダイバータ研究を行っており、スーパー X ダイバータによる熱流束の大幅な軽減が可能であることが示された。L-H 遷移物理について、加熱パワーが H モードに達する閾値に足りない際に、他のトカマクで観測されているような中間モードの状態が観測されることが報告された。共鳴摂動磁場 (RMP) による ELM 緩和では、MAST では 18 の内部コイルを装備しており、モード数 $n=3, 4, 6$ の RMP 印加による ELM 緩和が観測された。また、 $n=6$ 印加時に X-point 付近で 3 次元構造を持ったローブ状構造がカメラ画像で観測された。ペデスタル物理について、ELM サイクル中のペデスタルの時間発展をトムソン散乱で計測し、ペデスタル幅の変化が大きいことを示し、またペデスタル上部でのマイクロテアリングモードが重要であるとの計算結果が示された。その他、ニュートロンカメラや FIDA 計測を用いた高速イオンの観測、BES による L-mode プラズマのイオン乱流についての報告があった。また、8 つのアンテナ・16 の周波数による EBW 放射イメージング計測の結果が紹介された。

中・小型装置からは、各々の特色を生かした成果が発表された。特に国内の装置である、QUEST、TST、TS-3 および UTST、LATE、HIST からは ST 立ち上げ、高周波による電流駆動に関して世界をリードする先駆的な結果が報告された。(打田正樹)

RFP/ICC

RFP 分野からは MST、RFX-mod の OV 発表、実験 11 件 (Extrap T2R, RELAX を含む)、および理論 5 件の発表があった。RFP 配位とトカマクおよびヘリカル配位との相補性に注目しつつ、弱い外部磁場で高ベータプラズマの閉じ込めが可能という、RFP 本来の特長を追求するために、大電流 (密度) 化の方向が一つの流れとなっている。3 次元 RFP 平衡配位の再構成ツール (V3FIT コード、VMC コード) の整備の進展、3 次元 RFP 構造と Lundquist 数の関係、閉じ込め改善 RFP 配位における電子輸送障壁での輸送を制限するマイクロ不安定性 (マイクロテアリングモードが有力候補、ITG の可能性も?) の理解の進展が印象的であった。粒子輸送については不純物イオンおよび高速イオンともに古典的 (バナナ軌道幅 < ジャイロ半径) に振る舞うことが示された。NBI 実験が開始され、MHD モードへの影響、高速粒子駆動不安定性の観測など、興味深い結果が始めている。アクティブ MHD 制御ではヘリカル磁気境界

条件におけるヘリカルRFPの振舞い、非共鳴摂動磁場に対するRFPプラズマの応答、 $q_a < 2$ のトカマク運転および鋸歯状振動の緩和、RWMの安定化による高電流領域達成など、幅広い対象にわたって研究が展開されている。理論では、非線形3次元MHDシミュレーションによるヘリカルRFP配位への緩和現象、外部摂動磁場に対するRFPの応答など、実験との比較によるMHDモデルの妥当性の議論が進んでいる。中国で新しいRFP研究プロジェクトがスタートしたことも新しい流れであろう。ICC分野ではFRC、STおよびスフェロマックでの電流駆動、開いた磁力線の系でのMHD現象、磁気浮上型ダイポール磁場閉じ込め、磁気慣性核融合、静電慣性核融合などの発表があった。C-2装置では、2つのFRCの合体による磁束保持時間5msのFRC生成が報告された。小型FRCにおけるNBI実験も進展し、新しい研究領域が開けつつあるとの印象を受けた。ヘリシティー入射による電流駆動では、2つのRFPをスフェロマックに結合させる(HIT-SI)実験および磁化同軸プラズマガンのマルチパルス運転(HIST)でMHDシミュレーションとの比較研究が進展し、ダイナモ機構の理解が進んでいる。スフェロマックを基礎とする、開いた磁力線のMHD系では、力学的平衡が成立しない系でのキンクモード、Rayleigh-Taylor不安定性の役割などが議論された。

RFP、ICC分野ともにパラメータ領域、アクティブMHD制御法、加熱法など装置や研究手法の進展により、全体として新しい研究領域が開けつつあるとの印象を受けた。それぞれ独自の核融合炉概念の探求を進めているが、同時にこれらの分野は核融合プラズマ外のコミュニティとの接点となりうる分野でもあり、今後の展開が期待される。

(政宗貞男)

磁場閉じ込め理論、モデリング

全体的な印象では、オーバービュー講演が行われたトカマクにおける共鳴磁場摂動(RMP)等の3次元磁場摂動の閉じ込めやMHD安定性などへの影響についての発表が前回に続き活発であった印象を受けた。実際のプラズマ中での摂動磁場は、プラズマ応答により真空と異なることが実験的に観測されているが、理論・シミュレーションの実験解析との比較が数多く報告された。DIII-Dトカマクのオーバービューでは、軟X線カメラによりRMP重畳時のプラズマ周辺の磁力線構造を可視化する試みが報告され、さらにM3Dコードによる2流体モデルの線形シミュレーション結果との比較が報告された。M3Dコードによる2流体モデルの線形シミュレーション結果では、プラズマ応答によりプラズマ内のRMPは遮蔽されるが、セパトリックス近傍には磁束管の分岐構造が残ることが予想された。軟X線計測でも同様の構造が示唆されており、RMPの重畳がプラズマ周辺の磁力線構造を変えていることが指摘された。しかし、プラズマ内部の構造は実験の観測結果と数値シミュレーションに差がみられ、セパトリックス近傍の磁束管の分岐構造も細かい差が見られることから、さらなる考察が必要と考えられる。一方、EASTトカマクでは、ELM時のセパトリックス近傍でのフィラメント構

造が高速可視カメラにより観測された。この観測結果を、最近注目されているBOUT++の結果と比較したところ、フィラメント形状、発生位置共によく一致する結果が得られた。ELMの低減・抑制にはプラズマ応答がRMP磁場に与える影響の理解が必要である。4場方程式による2流体シミュレーションにより、Hモード時のペデスタル領域ではトロイダル回転だけでなくポロイダル回転も重要であることが示された。また、RMP磁場重畳以外のELM低減・抑制のためのシナリオとして、ペレット入射によるELMのペーシングがJOEKKコードにより計算され注目を集めていた。

その他興味深い発表としては、ITERでは垂直不安定性(VDE)によるディスラプションをいかに予測し制御するか、もしくはディスラプションを低減するかが問題になっているが、データベースを活用したディスラプション予測システムが開発され90%以上の予測が可能と報告された。ガスパフによるディスラプション低減の数値シミュレーションも報告されている。また、ジャイロ運動論シミュレーションも多数報告された。今回の発表の特徴として、EASTやKSTARなど新しいトカマク実験の成果が充実すると共に、理論・数値シミュレーションとの比較が広範囲にわたって行われるようになった印象がある。今後は実験観測との比較を通した数値モデルの検証(validation)が一つの流れとなっていくような印象を受けた。

(鈴木康浩)

慣性核融合

慣性核融合関係で現在最も注目されているのは、米国National Ignition Facility(NIF)における核融合点可燃焼をめざした実験の成果である。これについて、NIF directorであるLLNLのE. Mosesがオーバービュー講演で報告した。関連して、J. Frenje(MIT)がNIFにおける燃料密度半径積 ρR ($n\tau$ に相当する量)の計測を中心に点火実験(National Ignition Campaign: NIC)の詳細を口頭講演で報告した。それらの要点は、

- ・点火実験開始からまだわずか2年だが、実験は着実に進行し点火に近づいている。4つの物理課題(アイセントロップ、爆縮速度、燃料形状、ミキシング)について、これらを解決してきた。
- ・達成された燃料パラメータ(括弧内は目標値)は、主燃料密度 $\rho = 600 - 800 \text{ g/cm}^3$ (1200 g/cm^3)、 $\rho R = 1.2 - 1.3 \text{ g/cm}^2$ (1.5 g/cm^2)、中心スパーク密度 $\rho = 40 - 50 \text{ g/cm}^3$ (130 g/cm^3)、 $\rho R = 0.1 \text{ g/cm}^2$ (0.3 g/cm^2)。主燃料はほぼ実現したが、中心点火スパークの密度があと2-3倍足りない。また、中心スパーク形状がよくても主燃料 ρR に分布ありと、最近になって判明した。
- ・点火(アルファ加熱が支配的な燃焼)まで、中性子数はあと5-6倍。しかし現時点でも、既に中性子イールドの内の10-14%はアルファ加熱によるものである。
- ・点火予測との不一致の原因は、低次モードの形状非一様性と高次モードの流体不安定性によるミキシングに疑いあり、と判断している。これらを解決するアプローチを

今後進めていく。

議会との約束である2012会計年度末（9月30日）までに点火が達成できなかったということで、NIFはマスコミ等ではずいぶん批判されている。しかし、NIFの運転精度と稼働状況は素晴らしく、しかも新しい装置が立ち上がってわずか2年という短期間にこれだけの物理課題を整理し未踏の高精度実験を実現し点火実現へのステップを進めていることは、同分野の者の目には驚異的であると映る。これまでのレーザー核融合研究の歴史においても最も素晴らしい成果であろう。点火達成の実験は、マシンタイムをやや縮小されるものの引き続き今後も継続されるとのことであり、そう遠くない時期にニュースが入るのではないかと期待される。

ロチェスター大学のMcCroryの代理でD.Crandol(DoE)から、Polar Drive(PD)爆縮の進展が報告された。これは、もともと間接照射のための2バンドルビーム配置となっているNIFで球対称照射を理想とする直接照射による点火燃焼実験を行う提案であり、間接照射方式よりも高効率で点火燃焼にスケールすることが期待される。ロチェスター大学のOMEGAレーザーを用いた予備実験に加え、NIFにおいての初期実験が開始されたと報告された。結果は良好であり、NIFでの本格実験が期待される。それはさておき、Crandolの話は、PD爆縮の話に加えDOEの立場の説明が多かった印象がある。

点火燃焼効率に関する理論的考察がオーバービュー講演でBetti(ロチェスター大)からなされ、NIFで使用している点火指標パラメータITXを含めOMEGA/NIFのスケリングが示された。また、More(LBL)は燃焼に関してMD計算によりnon-Maxwellian成分、ion相関の影響を評価した。

高速点火については、疇地(阪大)が、阪大レーザー研・核融合研が中心となって進めている高速点火核融合プロジェクトFIREXの説明をオーバービュー講演で報告した。主計画である高速電子による高速点火に加え、バックアップとして衝撃点火の研究も進展していること、ドライバ・燃料系にも進展があることが報告された。激光XII号とLFEXレーザーを用いたFIREX実験の詳細は、白神(阪大)から口頭講演で報告された。2010-2011年の実験において、加熱により増加する中性子数が以前の記録を超え、加熱効率は10-20%と評価された。また、さらに効率を向上するために、低Z物質であるダイヤモンドライクカーボン(DLC)のコーンを新たに採用したこと、高速電子流の発散を抑えるために外部磁場を印加するための基礎実験が成功していること、などが報告された。高速点火に関する基礎過程に関しては、自発磁場の効果(長友:阪大)、K α X線計測による電子輸送評価(Wei:GA)、イオンによる高速点火(Qiao, McGuffy:UCSD)などが議論された。今回あらたに日本から、繰り返しショットでの高速点火核融合実験に関する成果が報告された(北川, 森:光産創大)。これはまだ小規模ではあるが、繰り返し運転を指向した実験技術の開発に意義がある。

計測技術に関しては、プロトンプローブによる精緻な電

磁場計測(Li:MIT)、高バックグラウンド環境下での中性子計測(有川:阪大)が特筆される。ドライバ技術に関しては、KrFレーザー(Sethian:NRL)、SBSによるレーザービーム結合(Kong:KAIST, Kalal:Czech)、重イオンビーム(Kwan:LBL)などの進展の報告があった。炉工・燃料系に関しては、クライオ重水素のフォーム中の高充填(岩本:NIFS)、量産技術(Alexander:GA)、炉設計(Perlado:Madrid大)の進展が報告された。

最終日のIFEのサマリートークは米LLNLのHinkelが行った。(白神宏之)

核融合炉工学

核融合炉工学に関する発表では、EAST(中国)、SST-1(インド)、K-STAR(韓国)のアジアにおける装置の進展が報告され、また日本からもJT60SAの現状と計画が報告されるなど、アジア諸国の核融合開発のパワーがめだった。ITERに取り付けて試験をする各極のテストブランケットの発表では、ITERを試験ベッドとして用いるブランケット試験が現実に向けて動きつつあることが感じられた。材料開発では、低放射化鋼の開発とデータ整備が、国際的な協力を有効に活用して、計画的に進められつつあることが報告されていた。また、炉・システム設計やブランケットを主対象とした中性子工学関連の発表も増えており、核融合の原子力工学としての認識の重要性が増していることが感じられた。

今回の会議で注目を集めたのがダイバータ関連の研究発表であった。特に象徴的であったのが、会議初日に行われたITER機構長による発表である。初期装填分のITERダイバータカセットのプラズマ対向材料を全てタングステン化するオプションが示された。本提案は、公式決定ではなく、コスト戦略の観点からの提案であり、プラズマ物理の観点からはリスクを伴う選択であることの説明もなされた。今後の採用決定に至るまでのプロセスにおいて、判断材料となる研究課題が未だ残っていることから、JETでのプラズマへの影響試験をはじめとして、今後の展開が注目される発表もあった。また、EUのITERダイバータ調達責任者であるP.Lorenzetto氏からは、全タングステン化のダイバータ設計に関する研究開発の最新情報が示され、EU、ロシア、日本の3極が技術開発を行い、小型試験体および実規模大プロトタイプ製造と品質評価のための繰り返し高熱負荷試験(最大20 MW/m², 500 cycles)の実施計画が発表された。特に、EUは、品質評価用のタングステンダイバータ小型試験体を既に製作済みであり、高熱負荷試験の準備に取りかかっているとの発表であった。また上記3極のみならず、インド研究者のポスター発表でも、タングステンダイバータ小型試験体において、赤外カメラを用いた接合欠陥の評価試験を実施しており、発表全体を通してタングステン化に向けたR&D活動や計画が多く見受けられた。

本会議では、プラズマ物理から核融合炉工学、炉構造システムまで幅広い分野の研究者が成果発表を行うため、核融合炉を中心として横断的に情報交換を行うことが可能で

あった。その会議の雰囲気为背景として、プラズマ対向壁としてタングステンを使用した場合のプラズマへの影響予測は、依然として不明確な部分が多いことから、工学分野

のみならず物理分野からも今後必要な実験等について議論が活発になされていた。

(関 洋治)

(原稿受付：2012年12月3日)

