インフォメーション

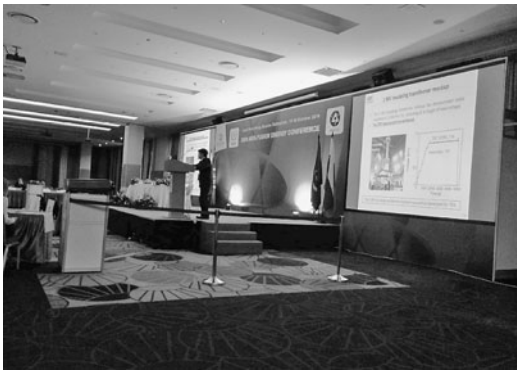
■会議報告
第25回 IAEA 核融合エネルギー会議（FEC2014）

坂本慶司（原子力機構），鎌田　裕（原子力機構），
横山雅之（核融合研），花田和明（九州大学），
政宗貞男（京都工繊大），福山　淳（京都大学），
藤岡慎介（大阪大学），小柳津　誠（原子力機構）

標記会合が2014年10月13日－18日の６日間，ロシアのサンクトペテルブルグのパークインホテルにて開催された．参加者は約800名，参加国数は ITER を含め39カ国，発表件数は，約650件で，そのうち口頭発表は111件（基調講演１件，オーバービュー23件，磁場閉じ込め実験39件，プラズマ総合性能と制御（PPC）２件，理論17件，慣性核融合５件，工学系22件，ポストデッドライン２件）であった．分野分けとして，今回からPPC（Plasma Overall Performance and Control），FNS（Fusion Nuclear Physics and Technology），MPT（Materials Physics and Technology）が新たに設けられ，原型炉等に向けた研究開発成果の発表が大いに奨励された．日本からの国際プログラム委員は，鎌田（委員長），居田，福山，白神，坂本（慶）であった．日本の口頭発表は約21件であり，前回と同等の貢献である．また，今回，国際情勢の影響を受け，残念ながら米国の国立研究機関（ローレンスリバモア国立研究所，オークリッジ国立研究所，プリンストンプラズマ研究所など）からの参加が急遽キャンセルとなった．７～８月に国際プログラム委員会で調整が行われ，NIF 等，多くの口頭発表のキャンセルはあったものの，代理発表・代替発表などで例年どおりの発表件数が確保された結果，大きな混乱も生じなかったことは幸いであった．会議は，初日，ホストのロシア（A.Litvak 氏）と IAEA（R. Kaiser 氏）の挨拶に引き続き，基調講演としてクルチャトフ研究所の E.P.Velikhov 氏よりロシアの核融合研究の歴史と今後の研究の方向性が紹介された．従来の ITER を中心とした研究開発に加え，Fusion-Fission の Hybrid 炉を視野に入れていること，この Hybrid 炉の概念は，1951年に Kurchatov が高温プラズマから発生する中性子を，^{6}Li からのトリチウム増殖に加え^{238}U や^{232}Th から^{239}Pu や^{233}U への変換に利用することを提言したことに始まるとのことであった．また，Kurchatov は，核融合研究のリーダーに Artsmovich（実験）と Leontovich（理論）を指名し，この流れが今日の核融合研究に繋がっていることなどが述べられた．引き続きオーバービューセッションに移り，地元ヨッフェ研究所の活動紹介（Askinazi 氏），ITER 建設活動の進展（本島機構長）が発表され，JET,DIII-D,ASDEX-U,LHD 等の最新研究成果の発表がこれに続いた．最終日の午後には，サマリーセッションがあり，５件の発表において各分野のトピックスが総括された．（磁場閉じ込め実験等：C.Hidalgo，A. Sen，磁場閉じ込め理論：福山淳，慣性閉じ込め：J. Perlado，核融合工学：B. Kuteev）．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．なお，次回は2016年に京都にて開催される予定である．（坂本）

会場のホテルの玄関からから見た夕焼け．夜は寒く，明け方は，10月中旬とはいえ０度近くまで冷え込んだ．（花田和明氏提供）

会場のパークインホテル．会議は２階エリアを占有して行われた．多くの屈強なロシア人ガードマンが厳重な出入り管理を行っていた．（小田靖久氏提供）



会場でのオーラル発表風景．合計111件の口頭発表と，５件のサマリー発表が行われた．

トカマク

今回のIAEA会議では，ITERの初期ダイバータをタングステン製モノブロックとすることが決定されたことを受けて，タングステンダイバータでのHモードの理解と運転領域の開拓，ダイバータ熱負荷の低減，ELM（Edge Localized Mode）緩和，ディスラプション緩和が大きなテーマとなった．また，燃焼プラズマを実現するための研究として，ECH（電子サイクロトロン共鳴加熱）や電子加熱領域での輸送，ELM緩和やプラズマ回転と密接に関連する3次元的磁場構造の効果，高エネルギー粒子駆動不安定性，等に一層の注目が集まっていた．

タングステンダイバータの観点では，JETの一連の研究が高く評価できる．JETは，第一壁およびダイバータをITERと同様の金属製とする「ITER-like wall」での様々な実験（特に，タングステンタイルをわざと溶融させる実験など）を行い，ITERに向けた数多くの成果を得た．すなわち，ⅰ）水素の吸蔵が炭素ダイバータと比べて1桁以上小さいこと，ⅱ）タングステンダイバータで10～20%劣化していた標準的なHモードの閉じ込め性能を，プラズマ電流2.4 MAまでであれば，ほぼ閉じ込め改善度1弱まで回復したこと，ⅲ）ICRF（イオンサイクロトロン共鳴加熱）による中心加熱でタングステンの中心蓄積（新古典輸送が支配的）を1/3に低減できること，ⅳ）タングステン溶融層の運動のシミュレーションが実験を再現したこと，等である．また，JETとASDEX-Uからはタングステンダイバータでの周辺ペデスタル構造に関する詳細な報告が行われた．

ダイバータ熱負荷低減に関しては，ダイバータ板に熱流が到達する以前に放射で熱を散逸させるために f_{rad} = 放射パワー／加熱パワーを高く取る必要がある．しかし，このとき同時に高い閉じ込め性能を維持しなければならない．ASDEX-Uでは，$f_{rad} = 0.85$のデタッチダイバータ状態で閉じ込め改善度（H-factor）= 1を維持するという良好な結果を得た．しかし一方，JETでは，不純物ガスの種類によらず $f_{rad} = 0.75$ が限界で，その際のH-factorは0.75という低い値であった．デタッチダイバータと良好な閉じ込めの両立にはまだまだ課題がある．

ELM緩和の主案の一つであるRMP（resonant magnetic perturbation，共鳴摂動磁場）については，プラズマ存在下での3次元磁場によるエルゴダイゼーション効果を正しく評価する手法等が進展し，これらとDIII-DやASDEX-Uを含む各国のデータを用いた理解が進んでいる．また，DIII-DではQHモード（Quiescent H-mode）の適用性の研究が進んでいる．

ディスラプション緩和では，特に逃走電子に関する研究が進んだ．ITPA（国際トカマク物理活動）で纏めたデータベースでは，逃走電子流が維持されるトロイダル電場は予測値の5倍高いことが示された．DIII-Dでは，高Z不純物（窒素やアルゴン等）のガス入射で信頼性の高い逃走電子抑制に成功している．

JT-60Uからは，ECH加熱に対するプラズマ応答が電子温度，イオン温度，電子密度，トロイダル回転等で異なることやECHによる輸送の劣化が磁気シアや回転シアで決まることがTEM（捕捉電子モード）の不安定化と関連して報告された．DIII-Dでの密度分布やKSTAR（韓国・国立核融合研究所）でのトロイダル回転分布の決定機構でもTEMが中心的な役割を担うと報告された．TCV（スイス・ローザンヌプラズマ研究センター）ではプラズマ形状の違いがコアの輸送にも影響する等の興味深い報告も行われた．

高エネルギー粒子駆動不安定性（AEモード）が発生した際の高エネルギー粒子のはき出しについて，揺動のしきい値があることやNB（中性粒子ビーム）電流駆動効率の劣化等，DIII-Dから多くの研究が報告された．理論シミュレーションで多くを再現することができるようになった．

運転領域の開拓に関しては，ASDEX-Uにおいて，ITERの標準シナリオ（$Q = 10$ 運転）に貢献すべく，ペレット入射によるELMの小振幅化と閉じ込め改善のための窒素seedingでH-factor＝1，規格化密度＝0.85，規格化ベータ値＞2という良好な結果を得た．改善Hモード（Hybrid）運転についてITPAで実施した多くのトカマクのデータに基づく評価から，ITERでの I_p =12 MAのHybrid運転で $Q = 10$ を狙うことも魅力的なオプションであることが報告された．また，KSTARでは30秒の定常Hモードを得た．

一方，各国でトカマク装置の改良・改造も進んでいる．インドの小型超伝導トカマクSST-1（インドプラズマ研究所）では，トカマク実験が開始され，プラズマ電流10 kA，0.4秒のパルスを得た．ロシアでは，T-15 Upgrade（大半径～1.5 m，アスペクト比2.2，プラズマ電流＝2 MA，クルチャトフ研究所）が2017年運転開始の予定である．NSTX（米国・プリンストンプラズマ研究所）およびMAST（英国・カラム研究所）はプラズマ電流を2 MAにアップグレードして2015年から実験開始の予定である．HL-2M（中国・西南物理研究院）では，スノーフレークダイバータやX点から外側ヒットポイントまでが長い'Tripod'ダーバータを計画している．わが国のJT-60SAは建設が順調に進んでおり，2019年運転開始の予定である．（鎌田）

ヘリカル系

ヘリカル系に関しては，まず，会議初日にLHDのオーバービューがなされた．およそ48分の長時間放電（ECH, ICH同時入射），壁コンディショニングの促進に伴う最高イオン温度記録の更新（8.1 keV），高電子温度・高イオン温度の同時達成（～6 keV）などのプラズマパラメータ更新に関する成果とともに，パワーバランス描像を超えた動的輸送解析や熱パルス伝搬解析に関する報告がなされた．動的輸送解析によって，イオンITB形成の際に，運動量輸送の非拡散項（Intrinsic Torque）が符号を変えること，不純物フラックスが，輸送タイムスケールよりも早い時間スケールで内向きから外向きに変化し（不純物ホールの形成），それがコアから周辺部へと伝搬することなどが示された．磁場トポロジーに関して，ストキャスティック磁場による圧力勾配MHDモードの安定化，磁気島Oポイントへのペレット入射（DIII-Dとの共同研究）によって，局所的な密度上昇（ペレット溶発による密度上昇領域の，磁気

島よりコア側へのシフト阻害）の観測や，RMPによるデタッチメント状態の安定化なども報告された．LHDプラズマの広い密度・温度領域における不純物輸送特性の系統的理解が進んでいることも示された．TJ-II（スペイン・CIEMAT）からは，輸送，安定性，プラズマ運転などに関する報告がなされた．静電ポテンシャルの磁気面上変動が不純物の径方向輸送に影響を与えることが理論的に予測されていたが，長距離相関を指標として用いた磁気面同定に基づいて，その変動を初めて実験的に同定した．理論的予測を，数値解析コード，実験両面から解明していく上で大きな成果といえる．多チャンネルドップラー干渉計による遷移閾付近でのL-H遷移の観測によって，径電場シアと揺動（乱流レベル）がリミットサイクル振動（捕食－被捕食）の様相を示し，その時系列解析から，揺動が捕食の役割を果たしていることが理解された．また，同位体効果に関して，TEXTORトカマク（ドイツ・ユーリッヒ研究機構）とTJ-IIとの比較実験が行われ，重水素の比率が大きくなると，長距離相関（帯状流の大きさの指標）が，TEXTORでは強くなり，TJ-IIではほぼ不変（わずかに弱くなる）という対照的な結果となったことが示された．Heliotron J（京都大学）からは，短パルス高強度ガスパフによる$10^{20}\,\mathrm{m}^{-3}$の密度を有するNBIプラズマの生成や，磁力線に平行方向のプラズマ回転計測結果が洲鎌・西村の運動量保存を考慮した新古典輸送解析によって定量的に理解できることなどが報告された．W7-X（ドイツ・マックスプランク研究所）からは，2015年夏に予定されている実験開始を前に，実験初期フェイズからその後の本格的定常実験への実験シナリオの検討状況とともに，ヘリアス型核融合炉の設計に向けて，いわゆる“磁場配位最適化”について，実験検証による物理理解を急速に進める予定であることなどが報告された．

“3次元性”や“ストキャスティック”に関する国際研究動向において，ヘリカル系が大きな役割を果たしていることも改めて認識される会議であった．その例として，「ダイバータ／SOL輸送に対する周辺磁場構造の3次元効果」（オーバービュー）に触れたい．これは，LHDをはじめ，RMP印加のトカマクなどからのデータ集約とそれに基づく核融合炉におけるダイバータ最適化の可能性に関する報告であった．3次元効果は，ストキャスティック構造や磁気島の形成による磁力線に平行方向と垂直方向の輸送の競合から現れる．周辺部ストキャスティック領域の存在による不純物スクリーニング，RMP印加によるデタッチメント状態の安定化，高リサイクリング運転領域などへの影響が，実験装置の枠を超えて系統的に明らかとなった．周辺部電場，乱流，磁場摂動に対するプラズマ応答，ダイバータ熱負荷，ELM抑制，高Z不純物の効果などについてさらに系統的な研究を進めることで，核融合炉におけるダイバータ最適化への指針を得ることができるであろうと締めくくられた．

上記の報告や，その他の数々の報告を通じて，ヘリカル系における研究がヘリカル系に閉じたものではなく，環状プラズマの理解をさらに進める上で，普遍的かつ先導的な役割を果たしていることが強く認識された．（横山）

球状トーラス

球状トカマクについては最大の課題の一つであるプラズマ電流立ち上げに関する報告が多くの装置からなされていた．高周波関連を以下に簡単にまとめる．MASTで1 A/Wの高効率の電流駆動が電子バーンシュタイン波（EBW）電流駆動（CD）で達成された．QUEST（九州大学）では28 GHz第二高調波の電子サイクロトロン波電流駆動（ECCD）によって完全非誘導電流駆動として54 kA，ゆっくりと平衡磁場を上昇させることで66 kAまでプラズマ電流を上げることに成功した．8.2 GHzにとってカットオフになる密度で28 GHzとの重畳電流駆動で50 kAを維持することに成功した．LATE（京都大学）では2.45 GHz，60 kWで12 kAの電流駆動に成功している．EBWへのモード変換に適したモードでの入射を行うことで密度はカットオフ密度の7倍に達している．低域混成波電流駆動（LHCD）では，TST-2（東京大学）で周波数200 MHzで3種類のアンテナによる実験が実施された．得られた最大電流はアンテナの種類により異なり，電流駆動効率の最大は静電結合型コムライン（CCC）アンテナで，単一方向にシャープな$N_{//}$スペクトルの波動を生成できる利点が指摘されている．また，Globus-M（ロシア・ヨッフェ研究所）では理論的な予想を受けて新しい方式でのLHCD実験が実施され，100 kW（2.45 GHz）のRF入射で一周電圧の降下から評価された駆動電流は20-40 kAと評価された．SUNIST（中国・精華大学）では非誘導電流駆動のためにアルヴェン波とプラズマの結合に関する実験が実施されている．その他の電流駆動としてHIST（兵庫県立大学）では30 kAのプラズマ電流を同軸ヘリシティ入射（CHI）によって駆動することに成功し，HIT-SI（米国・ワシントン大学）では68.5 kHzのImposed Dynamo Current Drive（IDCD）が実施され，高い圧力のプラズマを維持することに成功している．

前回会議ではNSTXでのLiコンディショニングによる輸送の改善が注目を集めたが，今回は大型装置NSTX,MASTが改造中で運転が始まっていないため輸送に関する発表はシミュレーションや理論が中心であった．ELM関連では，MASTでRMPコイルの実験が実施され，ELM抑制はMASTでは観測されていないがELM低減に関しては$n=3$と4が最も効率的であった．ゆっくり回転する$n=3$ RMPによって発生するストライクポイントの分岐パターンの回転によりELM低減を維持している．閾値以上の変動磁場では，規格化されたELM周波数がRMP磁場の大きさに比例する．シミュレーションにより，3Dのプラズマ変形がpeeling-ballooningに影響され，結果的にELM周波数の変化につながっていることがわかった．Doppler-backscattering（DBS）とcross-polarization scatteringの観測によってペデスタルでマイクロティアリングモード（MTM）が不安定になりELMが発生していることがわかった．この結果はBESの観測結果に基づくジャイロ運動論的シミュレーションと一致していた．運動論的ballooning modes（KBM）がペデスタル幅を決めていてMTM

が電子熱流束を駆動していることをシミュレーションが示唆している．

定常運転に関して QUEST では10分以上の放電を繰り返し実施することに成功している．この長時間トカマク放電の粒子バランスが計測され，プラズマ曝露試料の分析結果と矛盾がないことが示されている．また，ガスパフやプラズマ位置の変調を行い，ECR プラズマと長時間トカマク放電で応答関数を求めることにも成功している．さらに，Comet型の高$\beta_P > 1$プラズマの定常に維持に成功したことも報告された．β_P が高くなると自然と内側にヌル点が発生して Comet 型の磁場配位となり，平衡条件によって負三角度配位が形成される．

NSTX Upgrade，MAST Upgrade の運転が2015年に開始される．MAST Upgrade では粒子・熱輸送に対する Super-X divertor の試験を行う．QUEST では2015年に高温壁の運用が開始される．（花田）

RFP/ICC

逆磁場ピンチ（RFP）分野では，RFX-Mod（イタリア・パドバ Consorzio RFX）と MST（米国・ウイスコンシン大）から 2 件の Overview 講演があり，これらと Extrap-T2R（スエーデン・王立工科大学アルフベン研究所）および RELAX（京都工繊大）から計 7 件のポスター発表が行われた．RFP に関連する理論も 2 件発表があった．ICC および EX のカテゴリーで磁化同軸ガンによるヘリシティー入射（HIST），磁場反転配位（FRC）（NUCTE：日本大学），スフェロマックに関連する AC ヘリシティー入射（HIT-SI），ST マージング時のトロイダル磁場効果（TS-3，4：東京大学），エルゴディックなコアをもつトカマク配位，ミラーと回転磁場による閉じ込め，捕捉電子を利用した ST のスタートアップ（VEST：韓国・ソウル大学），リングトラップ（RT-1：東京大学），動的ダイバータ概念など 8 件の発表があった．

RFX-Mod からは，QSH（Quasi-Single Helical 状態，ヘリカル磁気軸をもつ RFP 配位）の進展が報告された．QSH 内部（ヘリカル）電子輸送障壁では micro tearing 不安定性起源の乱流が輸送を支配することが示唆された．D 放電では H 放電よりも pure なヘリカル状態にあり，プラズマ領域全体の電子温度上昇（20%）および密度が上昇する同位体効果が報告された．周辺乱流（blob と対流セル）に起因する局在化された粒子蓄積が RFX-Mod の密度限界を決める要因であり，この周辺乱流に対する同位体効果も報告された．トカマク運転では $m/n = 2/1$ RWM の安定化により $q < 2$ 領域に至るシナリオが述べられ，$q = 1.5$ の安定なトカマク放電達成が報告された．

MST では PPCD（Pulsed Poloidal CD）を駆使して RFP 閉じ込め特性が詳しく報告された．輸送障壁の近傍に局在化した密度揺動が trapped electron modes に起因することが示唆された．プラズマパラメータについては，PPCD とペレット入射および NBI を組み合わせた結果，Greenwald 限界を超える密度 $0.9\times10^{20}\,\mathrm{m}^{-3}$ を達成し，また，β 値28%を達成した．密度に対して β 値は飽和傾向にあり，圧力駆動テアリングまたはインターチェンジが密度限界に関係することが示唆された．NBI 時の高エネルギー粒子駆動不安定性や，磁気リコネクションに伴う逃走イオン（runaway ions）生成も報告された．MST では QSH の位相制御にギャップ不整磁場のフィードバック制御を利用している．QSH データベースの充実と 3 次元平衡再構成法の改良により QSH の理解が進展し，QSH への遷移と MH（マルチヘリシティー，幅広いモードスペクトルの状態）への逆遷移のダイナミクスを記述する Predator-Prey モデルが提案された．

小型装置からは，MHD フィードバック系を駆使した誤差磁場計測および RWM ダイナミクスと分散関係の計測についての報告，低アスペクト比ヘリカル RFP への遷移過程の実験と 3D-MHD シミュレーションおよび軸対称配位での高 β 達成などの報告があった．

ICC（新概念）のカテゴリーでの主な報告は以下のとおりである．磁化同軸ガンによるヘリシティー入射を利用した ST の電流スタートアップでは，磁化プラズモイド入射から閉じた磁気面形成に至る過程についての報告，AC ヘリシティー入射（Imposed Dynamo Current Drive,IDCD）によるスフェロマックの定常電流駆動では，高周波数化による効率の改善とその機構についての報告があった．TS-3, TS-4 から MAST に至る ST マージングに関しては，強いトロイダル磁場下でも十分なイオン加熱がおこり，ポロイダル磁場エネルギーからプラズマエネルギーへの変換が効率よく行われることと，電子の運動論的効果が実験と PIC シミュレーションに基づいて報告された．

全体としては，プラズマ制御など能動的方法を駆使して個別プラズマ磁場配位の特徴を詳しく調べるとともに，磁場配位の特徴との関連で現象の基礎を理解し，モデル・シミュレーションの予測性を高めようとする方向性が感じられた．（政宗）

磁場閉じ込め理論，モデリング

理論・モデリング関係では148件の発表があり，その内訳は閉じ込めが53件，安定性が39件，波動プラズマ相互作用が34件，プラズマ材料相互作用が22件であった．これまでの会議に比べると，コア輸送を扱う閉じ込めがやや減少し，周辺プラズマを扱うプラズマ材料相互作用がやや増加したのは，ITER や将来装置におけるダイバータ熱負荷の課題への関心の高さを反映している．ELM の非線形発展と RMP，ペレット入射，SMBI（supersonic molecular beam injection）等によるその軽減に関するさまざまなシミュレーション結果が報告されるとともに，ダイバータ板における熱流束幅の評価やデタッチメント形成のシミュレーション結果が実験をよく再現することが示された．もう一つの壁負荷に対する課題であるディスラプションについては，MGI（massive gas injection）による軽減が拡張 MHD コードや統合輸送モデリングによって解析される一方，逃走電子生成とその軽減が 2 次元速度分布関数の時間発展として解析されるようになった．

コア輸送においては，乱流輸送シミュレーションの進展

が続いている．電子とイオンの空間スケールを同時に取り扱い，それらの相互作用を明らかにする大規模なジャイロ運動論シミュレーション結果や，新しいグローバルジャイロ運動論コードGKNETによる間欠的バースト生成のシミュレーション結果等が報告された．一方で周辺部における乱流熱流束の実験結果からの乖離（transport shortfall）に対する反論も主張された．ヘリカル系における乱流輸送シミュレーションも着実に進展しており，電磁効果とその飽和機構や捕捉粒子モードの安定化が報告された．周辺輸送については，トカマクにおけるLH遷移，不純物イオン分布，先進ダイバータ等が多く報告され，ヘリカル系閉ダイバータのシミュレーション結果が実験を再現することが示された．

高エネルギー粒子については，アルヴェン固有モードの励起と高速イオン速度分布関数の時間発展の自己無撞着な解析をはじめとして，アルヴェン固有モードとの非線形結合が数多く報告された．また，摂動磁場との相互作用による閉じ込め劣化や乱流揺動との相互作用についても解析が進展している．ICRF加熱についてはRFシースを含めたアンテナと周辺プラズマとの相互作用を含めて，アンテナ結合効率の評価が可能になりつつある．

実際のプラズマの時間発展を再現し予測するための統合モデリングも様々な形で進展している．トカマク輸送・3次元平衡・ヘリカル系新古典輸送を組み合わせたトロイダル回転のモデリング，コア輸送・周辺輸送・ダイバータを組み合わせた統合輸送モデリング，ITERに向けた統合モデリングフレームワーク，0D・定常1D・時間発展1Dを組み合わせた原型炉シナリオ開発等が報告された．（福山）

慣性核融合

IFE分野のオーバービューでは，米国ローレンス・リバモア国立研究所のEdwards氏がNational Ignition Facilityにおけるレーザー核融合研究の成果について，米国サンディア国立研究所（2014年10月より米国ローレンス・リバモア研究所）のHerrmann氏がパルスパワー装置による慣性核融合研究について講演する予定であったが，プログラム編成の段階で，キャンセルとなった．その結果，慣性核融合分野でのオーバービューは，大阪大学レーザーエネルギー学研究センターの疇地宏センター長のみであった．我が国におけるレーザー核融合研究関連の全体像を示すため，大阪大学のFIREXプログラムの進展と，浜松における高繰り返しレーザー核融合実験を中心に報告をした．

口頭講演では，マサチューセッツ工科大学のLi氏が，衝撃波圧縮の段階における点火領域での重水素とトリチウムの分離について講演を行った．衝撃波によって断熱圧縮が行われる段階においては，流体近似が破れ，重水素と三重水素が粒子的な振る舞いをするため，場所ごとに重水素と三重水素の混合比が異なる．詳細な解析の結果，慣性力と電場が，重水素と三重水素の分離の主要な原因であることが明らかになった．慣性核融合プラズマのように，高密度で流体近似が成り立つと一般に認識されている系においても，粒子的な振る舞いが重要な状況が生じることを示した重要な成果である．尚，流体近似の破綻は，点火部形成の初期に起こるため，点火全体に与える影響については，引き続き研究が必要であるとコメントされた．

大阪大学の藤岡は，高速点火核融合研究であるFIREXプロジェクトの進展について報告を行った．高速電子の特性評価によって，加熱効率の絶対値を明らかにし，加熱効率を低下させている要因を明確にした．加熱効率の向上のために，プラズマミラーの導入およびキロテスラ級の外部磁場の導入を行っており，それらの予備実験の成果が報告された．カルフォルニア大学サンディエゴ校のKrasheninnikov氏は，高速点火レーザー核融合研究に関連し，プレプラズマ中での高速電子の加速のメカニズムについて講演を行った．空間2次元の大規模Particle-in-Cellシミュレーションを行い，プラズマ中に形成される静電ポテンシャル井戸によって，高速電子が多重的に加速されることが，高速電子の高エネルギー化の原因であることを明らかにした．

ロシアのレベデフ研究所のKoresheva氏は，慣性核融合炉に必要な極低温核融合ペレットの運搬に関して，微小で繊細なターゲットを磁気浮揚によって，ペレット工場からエネルギー炉に運搬する方法を提案し，その原理実証を行った．韓国KAISTのKong氏は，誘導ブリリアン散乱による位相共役鏡および光パラメトリック・チャープパルス増幅法を用いた慣性核融合エネルギードライバーについて，そのコンセプトを示した．

ポスター発表では，大阪大学，広島大学から，FIREXプロジェクトに関連する計測技術，シミュレーション，レーザー技術が発表された．また，大阪大学，レーザー技術総合研究所，Iofe研究所から，衝撃点火，内面照射，外部磁場など，新しい点火方法について発表された．光産業創成大学院大学および浜松ホトニクスからは，レーザー核融合エネルギーの繰り返し発生に関する基礎実験，ターゲット供給，計測技術，レーザー技術について報告があった．タブレット端末を使い，研究紹介ビデオを見せるという工夫で，数多くの聴衆を集めていたのが印象的であった．イエナ・オプティクスからは，レーザー核融合炉ドライバー用のレーザーダイオードの開発について報告があった．半導体レーザーの1素子当たり300 Wの出力の技術が完成している．アルジェリアからレーザープラズマ中でのWeibel不安定性に関する解析が紹介された．式が羅列された理論研究であったため，報告者は完全にフォローすることが出来なかったが，IAEAらしい計らいであると思う．

仏国エコール・ポリテクニークのJacquemot氏が参加出来なくなったため，スペイン・マドリッド工科大学のPerlade氏が，IFEのサマリーを行った．欧州のHiPERプロジェクトの進展の紹介に加えて，NIFの点火への進展へのコメント，高速点火研究，エネルギー炉に向けた取り組みなど，包括的に報告した．今回は特殊事情により特に顕著であったが，IAEA-FECへのIFE分野からの参加が非常に少ないのが大変残念である．次回の京都ではもう少し参加者を増やせるよう，微力ながら努力したい．（藤岡）

核融合工学

核融合炉工学に関するオーバービュー発表は，初日のロシアのITER活動（Krasilnikov），2日目のJT-60SAプロジェクト（Barabaschi）の2件であった．特にJT-60SAは計画どおりに順調に進展している様子がわかりやすく紹介された．

ITERダイバータをすべてタングステンとするオプション（フルタングステンダイバータ）を受け，タングステンダイバータの開発や健全性の試験，特に熱負荷や高エネルギー粒子負荷に関する様々な報告あり，今後の展望について活発な議論がなされた．また，ITERに関しては，超伝導電磁石コイルの製法や製造の開発が完了したことを受けて，今後必要となる品質の確認手法の開発や調達の工程に関する報告がなされた．そのほか，EUや韓国による真空容器や調達状況等も報告された．特に開催国であるロシアの調達分担に関する報告が数多く見られた．

加熱分野では，JT-60SA用ジャイロトロンで，2周波数（110 GHz/138 GHz）で1 MW-100秒の目標達成，ITER用ジャイロトロンを用いて170 GHz/137 GHz/104 GHzの3周波数での1 MW出力達成とそれぞれの周波数で高効率パワー伝送に成功したこと，筑波大学における広範囲の周波数（14 GHz-300 GHz）でのジャイロトロン研究の進展などが報告された．ロシアの成果はポストデッドラインの口頭発表として，ITER用ジャイロトロンでの1 MW/1000秒の高繰り返し試験の成功や出力ミリ波の位相制御を可能にする新しいアイデアなどが発表された．負イオン型中性粒子加熱（NNB）では，原子力機構においてイオン源電極の温度制御による100秒の負イオン引き出しの成功，638 keV-100 A/m^2の負イオンの60秒加速の成功，ITER用1 MV絶縁変圧器の開発結果などが発表された．EUからは，イタリアのPadovaに建設中のNB試験施設の状況，ドイツ・カールスルーエ中央研究所のRFを用いた負イオン源の最新結果が報告された．

各国（日本，EU,US，ロシア，中国，韓国）のDEMO炉の設計報告では，詳細な発電シナリオを基にした設計や，コンポーネント毎の報告がなされ，超えるべき壁が数多くあるものの，着実に進展していることが実感できた．また，DEMO炉の設計に加え，核融合中性子源開発の現状も多数報告された．

炉材料に関する研究開発報告としては，ITERとの関連もあり，タングステンに関する研究報告が目立った．モノブロックタングステンに関する熱負荷や高エネルギー粒子負荷の影響，水素同位体の滞留挙動やそれらに及ぼす欠陥の影響等の報告であるが，なかでも，高温における高フラックスヘリウム照射によるfuzzと呼ばれるタングステンナノ構造の成長に関するシミュレーションが非常に興味深く，本研究の進展により構造生成のメカニズムの解明が期待できるとの印象を受けた．また，液体リチウムリミタの開発や液体プラズマ対向材としての液体リチウムの使用に関する研究開発，バナジウム合金に関する研究，各国のITER-TBM（テストブランケットモジュール）に向けた設計や増殖材の改良に関する研究の報告も多数なされていた．特に，EUによるL_4SiO_4にLi_2TiO_3を添加した材料開発とその放射線影響に関する研究は，いまだチャレンジングな部分も多いが，非常に興味深い報告であった．また，中国のヘリウム冷却固体増殖（HCSB）TBMに関する報告が他国と比して多数あり，中国のITER-TBM開発のアクティビティの高さを印象付けていた．トリチウム工学に関する研究は，輸送や安全に関するモデル計算を除き，あまり報告はなかったが，JETダイバータタイルにおけるトリチウム滞留量評価について，その深さ方向分布を燃焼法により分析した報告が印象に残った．（小柳津）

（原稿受付：2014年11月13日）