



# インフォメーション

## ■会議報告

### 29th IAEA Fusion Energy Conference (FEC 2023)

井上多加志・白井 浩・相羽信行・小島信一郎・若月琢馬・隅田脩平・井上静雄 (QST), 花田和明・池添竜也 (九大), 田村直樹・鈮持尚輝・小林政弘・武村勇輝・増崎 貴 (NIFS), 村上定義・本多 充 (京大), 佐野孝好 (阪大), 小田靖久 (撰南大)

#### 1. はじめに

IAEA (International Atomic Energy Agency) が2年に1度開催する核融合エネルギー会議 (FEC) が2023年10月16-21日にロンドン中心部のエリザベス2世女王センターにおいて開催された。今回は英国原子力機関 (UKAEA) が現地ホストを務め、44か国から1300名以上の参加者を得て、前回会議以降の2年間に得られた最新の成果が口頭発表約120件、ポスター発表約800件の発表があった。オープニングセッションで、IAEAのR. Grossi 事務総長の開会宣言に続き、英国政府を代表してA. Bowie・英エネルギー大臣の祝辞をいただいた。続いてI. Chapman UKAEA CEOを座長とし、Grossi 事務総長、Bowie 大臣に加えてP. Barabasci ITER機構長、J.P. Allain DOE 副長官、小西哲之氏 (京都フュージョンリアリング) によるハイレベルパネルとして核融合実用化への期待が語られた。今回IAEAの提案で、学部卒業後6年以内で研究機関のPermanent 職員でない若手を奨励する目的で、若手ポスター発表賞が設定された。FECプログラム委員会による投票の結果、J. Gonzalez-Martin (セビリア大)、木下稔基 (九大)、A. Wright (PPPL) の3名が選出され、書状と記念品が贈呈された。次回開催は2025年10月、中国西安の予定である。(井上)

#### 2. OV : Overview

##### 【OV/1 : Burning Plasma and Long Pulse】

この2年間で最も注目を浴びた核融合研究の成果として、OV/1セッションのトップバッターは、JET (英) の第一壁とダイバータをITER設計と同様にベリリウム及びタングステンに換装したITER Like WallでのDT実験 (DTE2) の報告が選ばれた。炭素壁で行われた1997年のDTE1実験時からのハードウェア、ソフトウェア開発の進展の報告に続き、10MW以上、59MJの世界最高核融合出力を得たことが報告され、さらにモデリングの検証、 $\alpha$ 加熱の効果、同位体効果などプラズマ物理の考察の詳細な報告がなされた。2番手は $Q=1.5$ を達成したレーザー核融合点火施設NIF (米)。ターゲット利得1.5、3.88MJの核融合出力を得たことが報告された。これまでポールポジションであったITERの講演は3番目となり、パラバスキ機構長からサイト整備、プラント建設、機器製作が順調に進んでいることが報告された。一方、真空容器セクタのセクタ間溶接のための開先精度の公差外れ、熱遮蔽の応力腐食割れにより大規模な修理が必要となって

いること、これに伴い計画の見直し (リベースライン) を進めていることが発表され、聴衆の理解を得ていた。さらに中国の超伝導トカマクEASTによる長パルス運転の結果が報告され、アジアにおける核融合研究の進展が印象つけられた。(井上)

##### 【OV/2 : Tokamaks】

トカマクのセッションでは、5件の発表があった。KSTARは高 $\beta_N$ 領域 ( $< 3.5$ ) に拡張できたこと並びに $\beta_N > 3$ の12秒間維持およびFire (Fast Ion Regulated Enhancement) モードによって $T_i > 10$  keVが得られたことが報告された。DIII-Dでは $\beta_N > 4$ ,  $q_{min} > 2$ の状態を $0.7 \tau_R$ 間維持されたことが報告された。AUGからはX-point radiator (XPR) の紹介があり、低温・高密度で非常に強い放射損失を伴う領域がコアプラズマ内のXポイント近傍に発生し、放射損失が90%に達する。TCVではLモード、入射パワー0.4MWの負三角度運転で $\beta_N \sim 2.7$ を達成している。HL-3では2回目の実験期間に1MAのHモード、SF配位で熱負荷のピークがSNの1/4程度になる等の成果が得られている。(花田)

##### 【OV/3 : Stellarators, Spherical Tokamaks, Private Sector】

LHD (NIFS) では、国内外の研究機関との共同研究を積極的に推進することで、核融合に関する物理課題、特に乱流輸送、磁気島、高エネルギー粒子閉じ込めに関して研究の進展があった。例えば、乱流輸送については、熱パルスより高速に伝搬する乱流パルスの発見、同時計測による低波数乱流と高波数乱流との関係導出や乱流拡がりによるダイバータ熱負荷の低減が報告された。W7-X (独) では、ダイバータ部が慣性冷却方式から完全水冷方式に改造された後の報告となった。水冷されたダイバータを用いた8分間の高加熱放電により総加熱量の記録が大幅に更新され、1.3GJを達成したことが報告された。また、本格化したNBI入射実験により、以前のペレット入射実験で得られたようなピークした電子密度分布が得られ、不純物輸送も含めて良い閉じ込めとなっていることが報告された。

MAST-U (英) からは22個の内部ポロイダルコイルを活用したベデスタル安定性の改善や、多用な先進ダイバータ配位における熱負荷軽減、特にSuper-Xによる1/10のダイバータ熱負荷達成とデタッチメント閾値の半減が示され、またH-modeとSuper-Xデタッチダイバータとの両立性について報告された。開催国の民間スタートアップ企業であるトカマクエナジー社 (英) から強磁場コンパクト球状トカマク装置ST40の成果について報告があり、大半径がわずか0.5m以下のコンパクトな装置で中心イオン温度10keVが達成されたことが報告された。また、同じく民間スタートアップ企業コモンウェルス・フュージョン・システムズ (米) が出資してMIT (米) と開発を進めるSPARCからは、SPARCトロイダル磁場モデルコイル (TFMC) プロジェクトの報告があり、MIT

に建造された超電導コイルテスト設備を用い、無絶縁 REBCO 技術を用いた 3 m 規模の TFMC における 40 kA テストでの 20 T 達成や、クエンチテストでの各種モデルの健全性の確認について報告された。(田村, 池添)

#### 【OV/4 : Technology, long pulse and science】

WEST (仏) では、実験第 2 期として 2022 年 12 月に ITER グレードのタングステン (W) ダイバータを使用した実験を開始した。100 秒の長パルスを達成し、単一パルスで約 300 MJ のエネルギーを入射した。L モードプラズマにおける X 点放射 (XPR) のフィードバック制御を行い、閉じ込め改善 (+15 ~ 30%) 及び中心部への W 蓄積の減少 (-40%) を得た。今後ダイバータの耐用時間の評価、高熱流束実験、ECRH による H モード運転を行い ITER の新しいベースラインの支援を行う。JT-60SA (日) では 2021 年 3 月に発生した JT-60SA の EF#1 コイルのターミナルジョイントにおける短絡事象以降に行われた活動、すなわち絶縁強化作業、グローバル・パッシェン試験による絶縁性能確認、電源システムの改良及び真空計と連動した能動的インターロックによるリスク軽減戦略の実施、統合調整運転の再開が時系列で報告された。2024 年 1 月からの JT-60SA 装置の増力計画及び研究計画についても報告があった。GLOBUS-M2 (露) の実験では、NBI を用いて  $T_i \geq 4$  keV の高イオン温度モード ( $n_e \tau_E \sim 10^{18} \text{ m}^{-3} \text{ s}$ ) を得た。H モードプラズマで観測されたタイプ III/IV の ELM は、ピーリング・バルーニングモードの不安定領域で説明できた。窒素シーディングした実験では、コア閉じ込め性能を劣化することなく、外側ダイバータストライク点での熱流束は 1/10 に減少した。長パルスの次世代球形トカマク (Globus-3) のパラメータ ( $R=0.775 \text{ m}$ ,  $a=0.44 \text{ m}$ ,  $B_t=1.5 \text{ T}$ ,  $I_p=0.8 \text{ MA}$ ) も紹介された。前山 (名大) はイオンスケールから電子スケールまでを含んだマルチスケール乱流研究の進展を紹介した。イオンスケールの渦は電子スケールのモードを歪め、電子スケール乱流はイオンスケールの構造を乱すなど、マルチスケール相互作用物理の理解の進展を紹介した後、準線形モデルはイオンスケール乱流による電子スケール乱流の抑制効果も踏まえたモデル化をすべきであるとの指摘を行った。IFMIF/EVEDA (国際核融合炉材料照射施設工学実証・工学設計活動) では、2019 年に RFQ (高周波四重極加速器) までの 125 mA, 5 MeV の短パルス重水素ビームの生成に成功した。高稼働率の 125 mA 運転を目標とした B+ 期ステージ 2 が、2023 年 8 月 1 日に開始した。可用性と信頼性を改善するための機器の改良と強化が図られている。また、欧州が推進する DONES 計画では、2017 年に建設サイトがグラナダに決定し 2023 年に建設段階が開始した。(白井, 本多)

### 3. EX : Magnetic Fusion Experiments including Validation

#### 【EX/1 : Core Edge】

DIII-D (米) において ITER 基本シナリオプラズマを生成し、Kr と Xe を用いてタングステン放射を模倣した

実験が報告された。これにより、放射率の変化での振動が観測され、Lotka-Volterra モデルによる分析で ITER への適用可能性が示唆された。TCV の負の三角形 (NT) トカマク運転では、L モード NT 核融合炉への適用性が探求し、 $\beta$  制御、ジャイロ運動論シミュレーションを用いて、この形状の利点と制限が検証された。DIII-D の別の実験では、NT 形状で高性能化と ELM 抑制が実現し、パイロットプラントに向けた有望な選択肢として評価され、性能、安定性、輸送、シナリオ開発に関する議論がされた。(釘持)

#### 【EX/2 : Pedestal】

ITER や原型炉において H モード運転を実現したうえで ELM によるダイバータへの大きな熱負荷の発生を回避するという重要課題を解決するために求められる様々な物理理解の進展が報告された。Solano (CIEMAT) の講演では、JET 装置 (英国) における重水素 (D) ・三重水素 (T) 放電での L-H 遷移閾パワー ( $P_{LH}$ ) を評価した結果が紹介され、D-T 混合放電の  $P_{LH}$  は金属ダイバータ設置後の JET の実験結果のみを用いて得たスケールリング則にはよく一致するものの、従来より用いられている ITPA 2008 (Martin) スケールリングでは過大評価となっていることが示された。また、Logan (Columbia Univ.) の講演では、DIII-D 装置 (米国) の実験において、電子サイクロトロン波 (ECW) をペDESTAL 領域に入射することで共鳴摂動磁場 (RMP) による ELM 抑制に必要な磁場強度を低減できたことが報告された。TM1 コードを用いた非線形 MHD シミュレーションにより、プラズマ電流と逆方向に ECW による電流駆動がある場合には磁気島が成長するためにこのような実験結果が得られたことを示唆する結果についても示された。相羽 (量研) の講演では、DIII-D 装置における ELM 抑制運転 (QH-mode) の実現に不可欠な物理パラメータに関する解析結果が報告された。MINERVA-DI コードを用いてプラズマ回転およびイオン反磁性ドリフト効果を考慮した MHD 安定解析を行った結果、ペDESTAL 領域で高いイオン温度 (あるいはその勾配) があるためにプラズマが強いイオン反磁性ドリフト回転をしている場合にのみ、QH-mode の運転領域が得られることを示唆する結果が報告された。(相羽)

#### 【EX/3 : Turbulence】

LHD (NIFS) の実験において、閉じ込め領域で励起された乱流が、周辺ストキャスティック領域へ伝播し、ダイバータ熱負荷軽減につながることを報告された。また、LHD において電子スケール乱流の計測が行われ、電子温度勾配がある閾値を超えるとその揺動強度が急激に増加することが報告された。電子とイオンスケール乱流の同時計測が行われ、両者の相互作用についての議論がなされた。DIII-D (米) の実験において、重水素プラズマでは軽水素に比べて閉じ込め時間は 2 倍ほど高いにも関わらず、乱流揺動は重水素においてより大きくなっていることが報告された。MIT から、ジャイロ運動論シミュレーション (CGYRO) による輸送計算と DIII-D におけ

る実験結果の比較・検証に基づき、ITER ベースラインシナリオにおけるプラズマ性能（核融合出力 500 MW,  $Q = 10$ ）の実現可能性が示された。マックスプランク研究所から、ジャイロ運動論コード GENE-X と簡易ドリフト流体コード GRILLIX を組み合わせたシミュレーションにより、TCV 装置の SOL プラズマ輸送解析、実験との比較検証が報告された。また同コードによる負三角度配位やステラレータ配位の計算結果も示された。（小林）

#### 【EX/4 : Control】

実時間制御の報告として、共鳴磁場摂動 (RMP) を用いた ELM・デタッチメント制御、壁コンディショニング制御、プラズマ平衡制御、ディスラプション抑制制御、プラズマ密度制御、アルフェベン固有モード制御に加え、近年注目を集める機械学習を応用したプラズマ平衡制御、またデータ同化を応用した温度分布制御が報告された。特に目覚ましい成果として、DIII-D, KSTAR では共鳴磁場摂動 (RMP) を用いた実時間 ELM 制御として、プラズマ閉じ込めの性能劣化を最小限に留めた RMP コイルによるアダプティブ制御を行い、いずれも高い  $\beta$  値を維持しつつ ELM 抑制が実証されたことが示された。また、EAST より、リチウムパウダーを用いた実時間壁コンディショニング制御に加え、積分器の誤差修正を行った実時間プラズマ平衡制御により 1056 秒の内部輸送障壁有り I-mode の長時間運転が実証されたことが紹介された。また TCV ではプラズマ平衡モデルに基づいた強化学習を活用した実時間プラズマ平衡制御が行われ、磁気計測信号をニューラルネットワークの入力にしてコイル電圧を出力し、リミター・シングルヌル・ドロップレット配位など様々なトカマク配位が実験的に得られたことが報告された。（小島）

#### 【EX/5/7 : Scenarios I/II】

運転シナリオに関して、JET から DTE2 実験において安定な放電を得るためのシナリオ開発の詳細が報告された。また、 $\alpha$  粒子の振る舞いが予想通りであったことも報告された。KSTAR から低密度で得られる高速イオンによる閉じ込め改善モード (FIRE モード) が報告され、DIII-D からは高ポロイダルベータ放電において高密度でも高い閉じ込め性能が達成できたことが報告された。LHD からはボロン粉末投下によって長時間放電中の実時間壁調整に成功したことが報告され、ペレット入射による高閉じ込めモードへの分岐が多くのステラレータ装置で観測されたことも報告された。（若月）

#### 【EX/6 : 3D Physics】

ASDEX Upgrade (独) からは、外部 RMP による ELM 抑制時のペダスタル部に磁気島を初めて観測した結果やその影響が報告された。また、外部 RMP による ELM 抑制がプラズマの主イオン種の重水素に対するヘリウム比と水素比の増加により失われることが示された。KSTAR (韓) では、外部 RMP のトロイダルモード数を放電中に切り替える実験により観測できたペダスタルイオン温度に対する乱流輸送の影響が報告された。DIII-D (米) では、

外部 RMP を用いてダイバータデタッチメントと ELM 抑制の同時達成を実証したことが報告された。（武村）

#### 【EX/8 : Exhaust】

ITER like wall を備える JET (英) では三重水素を使った実験が行われ、このセッションではデタッチメントおよびプラズマ・壁相互作用に対する同位体効果に関する研究成果が報告された。また、近年見出された、閉じた磁気面内の X 点近傍に放射損失領域を形成し維持することで完全デタッチメントと ELM の抑制を得る運転について、X 点をダイバータ板近くまで寄せて閉じ込め領域を拡大する Compact Radiative Divertor の実験とシミュレーションの結果が ASDEX-Upgrade (独) から報告された。（増崎）

#### 【EX-W : Waves】

JET の D-T 実験におけるアルファ粒子と MHD・波動との相互作用に関する発表が特に注目を浴びていた。新古典テアリングモードやキンクモード、魚骨型不安定性などの MHD によるアルファ粒子の損失や、ICRF 波動によるアルファ粒子の加速、アルファ粒子が駆動したと見られる AE の観測結果が報告された。高速イオンに関わる制御研究として、LHD での ECH を用いた高速イオンの分布硬直性の制御や、ASDEX-U における外部磁場摂動を用いた AE の抑制・励起、HL-2A での ECH による魚骨型不安定性などのモードの安定化についての報告があった。また、高速イオンや高速電子が駆動する高周波について、QUEST や JT-60U, FT-2, ASDEX-U, TUMAN-3M から新たな観測結果が報告された。（隅田）

## 4. TH : Magnetic Fusion Theory and Simulation

TH セッションでは OV1 件を含む 266 件の発表があった (Oral は 24 件)。前回のオンライン開催 (2021 年) が 227 件、前々回 (ガンディーナガル, 2018 年) が 167 件であることから、TH 関連の発表件数は増加傾向を示している。これは、大規模シミュレーションによる予測精度の向上や深層学習などを取り入れた新しいモデリングにより、理論・モデリングへの問題解決手法としての期待が高くなって来ているためと考えられる。（村上, 本多）

#### 【TH/2 : Fast Ions】

電磁流体的な現象も含めジャイロ運動論シミュレーションによる自己無撞着なシミュレーション研究について多くの発表が行われた。G. Brochard (ITER) の講演では DIII-D プラズマにおいて、フィッシュボーン不安定性によって引き起こされる帯状流によってフィッシュボーン自身が飽和することを GTC コードによるシミュレーションにより初めて明らかにし、DIII-D 実験結果との良い一致が報告された。また、Z. Lin (UC-Irvine) は ITER における高エネルギー粒子閉じ込め研究について国際的な活動を取りまとめた発表を行い、結果としてはやや楽観的であるが  $\alpha$  粒子分布の大幅な緩和も予想されることを報告した。日本からは、Bierwage (QST) が、緩やかな鋸歯状振動が背景プラズマと減速したアルファ粒子の

「灰」の混合のみを引き起こし、MeVクラスの高速アルファ粒子はほとんど乱されない狭いパラメータウィンドウが存在することを報告している。(村上)

#### 【TH/3 : Edge & Divertor】

Chang (PPPL) が静電 XGC シミュレーションを用いて ITER の 15MA における SOL 熱流路幅の評価を行い、磁気セパトリックス表面における不安定のため経験的スケーリングによる予測よりも一桁大きいことが報告された。また、Wilkie (PPPL) の講演は full-f ジャイロ運動論シミュレーションにより、いくつかのトカマクで観測されたポロイダル燃料補給の非対称性の原因がスクレイブオフ層プラズマの運動論的効果に起因することが報告された。Ricci (EPFL) は、トカマク境界におけるプラズマ乱流を考慮した第一原理シミュレーションの結果に基づいた運転密度限界の第一原理スケーリングを構築し、AUG および JET, TCV 実験結果との比較検証と ITER に向けた予測について報告を行った。Parisi (PPPL) の講演では、新しい運動論的バルーニングモードジャイロ運動論的安定性ペダスタルモデルを導入し、NSTX 実験において観測された ELMy H モードの線形ペダスタル幅-高さスケーリングに関する検証について報告している。(村上)

#### 【TH/4 : Turbulence】

Ulbl (IPP Garching) は TCV のダイバータ配位における周辺と SOL の乱流を調べるため、ジャイロ運動論コード GENE を周辺まで拡張した GENE-X と、X 点を含む 3次元磁場配位対応の Hasegawa-Wakatani モデルである GRILLIX を用いた。TCV の負三角度配位において SOL の減衰長が通常の三角度配位と異なる事を示し、最後に両コードのステラレータへの適用例を紹介した。成田(京大)はジャイロ運動論コードの線形計算結果をニューラルネットワークで模擬し、半経験的な飽和ルールに基づき輸送フラックスを同定する乱流輸送モデル DeKANIS の進展を報告した。残留 ZF レベルの衝突減衰効果と、核燃焼プラズマを予測する上でも重要な、軽水素、重水素、三重水素の質量依存性をモデルに取り込み、統合シミュレーションによって ITER での密度と温度の予測を行い、主イオンが異なる場合における分布の違いを明らかにした。(本多)

#### 【TH/5 : Control】

JT-60SA のコミッションing・Ope-II に向けて開発された平衡制御手法や KSTAR 等での誤差磁場補正手法について口頭発表があった。制御全体で 2/5 件が日本からの口頭発表でありプレゼンスを示せたといえるだろう。会議全体としてプラズマ物理の解明はもちろんだが、制御を含めて核融合を実現するためのレシピに力点が置かれ、過去の会議と比べ潮流が変わってきたように感じた。JT-60SA の初プラズマを受けて、本分野において今後ますます日本のプレゼンスが強まることを期待したい。(井上)

#### 【TH/6 : Scenario I】

ステラレータ最適化の報告として Calvo (CIEMAT) が、高速イオン閉じ込めと乱流輸送に関して最適化され、同時に、MHD 安定で低い新古典輸送とブートストラップ電流を与え、さらにアイランドダイバータに適合する回転変換を持つ初めての準等磁場配位について報告している。(村上)

#### 【TH/8 : MHD & Disruptions】

Cathey (MP/IPP) が JOEUK コード等を用いた ELM の存在しない運転領域に対する最近のモデリング活動について紹介し、AUG 実験結果との比較について示し、また JT-60SA における予測について報告された。また、Wingen (ORNL) の講演では EUROfusion の TSVV プロジェクトで実施されているトカマク破壊における暴走電子のダイナミクスについて、主な数値計算ツールである DREAM コードと JOEUK コードの概要と最近の開発について報告された。さらに、Schwarz (MP/IPP) は AUG における垂直変位現象 (VDE) について JOEUK-STARWALL コードを用いて解析を行い、非緩和のディスラプションに対する検証を行い、実験結果と良く一致することが報告された。(村上)

#### 【TH/9 : Core Transport】

EX と TH の Rapporteur 講演となった Angioni (IPP Garching) と Staebler (GA) の発表では、乱流輸送モデル TGLF の新しい飽和ルール SAT2 と、DIII-D や ASDEX Upgrade (AUG) の L モードプラズマへの適用例が紹介された。これまで L モードの周辺領域ではジャイロ運動論シミュレーションによる輸送流束の予測が実験と比べて低くなる shortfall という問題が存在したが、径方向もスペクトル化することでその問題を克服し、準線形モデルもそれに合わせた改善が求められていた。TGLF-SAT2 では飽和時のポテンシャル揺動強度のポロイダル依存性も取り込むことで shortfall 問題を克服し、L モードプラズマ境界まで TGLF モデルを適用可能とした。ASTRA/TGLF-SAT2 によって AUG における ECH パワー、密度、プラズマ電流、トロイダル磁場のスキャンをほぼ完全に再現し、L モードプラズマ予測の信頼性を示した。Qi (KFE) はジャイロ運動論コード gKPSP を用いてオーミック放電の線形密度上昇フェーズ (LOC) と飽和フェーズ (SOC) における閉じ込め時間の同位体質量依存性について調べた。混合長理論やジャイロボームから導いた閉じ込め時間の質量依存性は質量の -0.5 乗となるが、実験スケーリングでは 0.3 乗 (LOC) から 0.5 乗 (SOC) 程度と依存性が大きく異なっていた。ジャイロ運動論シミュレーションの結果、0.2-0.5 乗程度の値となり、実験スケーリングのべき指数と概ね矛盾しない結果を得ることができた。(本多)

## 5. IFE : Inertial Fusion Energy

レーザー核融合のトップニュースは、核融合利得が 1 を初めて超えた米国立点火施設 (NIF) の実験成果で

ある。2010年の実験開始以来、長らく利得は $10^{-3}$ から $10^{-2}$ のオーダーに留まっていたが、2022年12月5日の実験では投入したレーザーエネルギー2.05 MJに対し、3.15 MJの核融合エネルギーの生成に成功した。その時点の最大利得に対して、突然1桁以上のジャンプアップであった。これは、レーザー吸収効率や燃料ターゲットの品質などの最適化を地道に繰り返してきた結果として得られた成果であった。NIFではそれ以降も再現実験を繰り返し、会議の開催された2023年10月までに3回のショットで利得1以上を達成しているという報告がプレナリー発表でなされた。また、このような輝かしい成果を支えた様々な計測技術の開発や、実験パラメータの機械学習による探索手法に関する口頭発表が行われた。一方、日本国内でのレーザー核融合研究の進展として、大阪大学における最新の高速点火実験の成果が報告された。NIFの推進する中心点火方式とは異なる高速点火方式の特性を活かして、従来のシェル状ターゲットから中実球ターゲットに変更することで、流体不安定を抑制したより均一な爆縮が実現できることがX線撮像計測によって確認された。これは、複雑化が加速するターゲット形状を、簡素化させる契機になり得る成果であると言える。また、ヨーロッパの話題としては、仏国で建設が進むNIF級の大型レーザー施設 Laser Mega Joule (LMJ)の現状と今後のスケジュールが報告された。およそ半分に相当する88本のレーザーが現在稼働しており、計測ツールも順調に整備されてきている。ラクビーボール型のフォーラムを用いた間接照射核融合実験だけでなく、2024年からは直接照射方式の実験も準備しているとのことであった。2027年にすべてのビームが揃い、2028年にはPETALレーザーで1kJの達成、そして2029年にDTターゲットによる実験が予定されている。

今回の会議では、水曜のランチタイムにレーザー核融合に関するミーティングが開催され、各国の動向が具体的に紹介された。NIFの成果を追い風に、研究費の獲得や装置開発の進む話題や、急激に増加している民間企業での取り組みなどが報告された。会議全体を通して、民間企業と大学・研究所との位置付けが今後数年でどのように落ち着いていくのか、レーザー核融合研究にとって極めて重要な時期であることを強く認識させられる会議であった。(佐野)

## 6. TEC : Fusion Energy Technology

TEC-HCD [Heating & Current Drive] セッションは35件の発表があった。中性粒子ビーム入射 (NBI) 加熱関連では、JETやASDEX UpgradeでのNBI機器の性能評価にかかる研究をはじめ、各国の機器開発状況が報告されていた。電子サイクロトロン (EC) 加熱関連では、W7-XやJT-60SAのシステム性能の向上に向けた取り組みなどのほか、要素技術開発としての複数周波数ジャイロトロンの長パルス動作試験の報告などがなされていた。他にも、電子バーンシュタイン波 (EBW) 加熱・電流駆動、イオンサイクロトロン (IC) 加熱機器の報告など、多様な加熱システムについての報告があった。

TEC-NSM [Next Step Machine designs (DEMOs, Pilots, etc.), enabling devices and roadmaps] セッションは34件の報告で構成され、このうち、3件の口頭発表で、欧州における DEMO の開発にむけた全体状況、韓国における K-DEMO の工学・物理検討の状況、ならびに日本の JA-DEMO の概念設計の概況が報告された。ポスター発表でも、英国の STEP やインドなど各国の次世代装置検討の概況報告があった。また、各機器に関して、運転シナリオの検討、マグネット・加熱機器・炉内機器・沿革保守機器の工学設計検討など、多くの領域の報告がなされていた。

TEC-ITR [ITER Technology] セッションでは29件の報告があり、日本国内機関である QST が調達する TF コイル構造物の完成の報告や、Fusion for Energy による ITER サイト内で製作を行った PF コイルの開発状況とそれに伴う知見の報告、Oakridge National Lab による CS コイルの製作状況の報告など、各国国内機関による最新の建設状況の報告に加え、QSTにおける MeV test Facility (MTF) による ITER スペックの NBI 機器の試験開発など、各国研究機関で進められているファーストプラズマ以降のフェーズに導入される機器の研究開発状況の報告がなされた。(小田)

## 7. PWF : Pathway to Fusion Special Event

今回、FEC PC の上位機関である国際核融合研究理事会 (IFRC) より、従来の FEC 会議で土曜日午後に開催してきたサマリーセッションに代えて魅力的なイベントを企画すべきとの勧告を受け、最近勃興しつつある核融合スタートアップ企業、及び各国研究開発機関のリーダーを集め、核融合実用化に向けた戦略、工程を議論する「Pathways to Fusion (PWF)」と題する講演とパネルディスカッションが企画された。まず R. Buttery プログラム委員会議長より、スタートアップ企業の核融合開発が各国研究機関の計画と並行してどのように進んでいくのか、その開発スコープ、工程、技術、リスク等を聴取、議論したいとの趣旨説明があり、続いてコモンウェルス・フュージョン・システムズ(強磁場トカマク, D. Brunner)、ジェネラルアトミクス社(定常先進トカマク, B. Grierson)、ITER 機構 (A. Becoulet)、EuroFusion (T. Donne)、QST (石田真一)、タイプ1・エナジー社(強磁場ステラレータ, T. S. Pedersen)、ウイスコンシン大(レーザー慣性核融合, S. Diem)、EX フュージョン社(高繰返しレーザー慣性核融合, 増田)がそれぞれの核融合実用化に向けた戦略等を説明した。セッション後半はパネルディスカッションであった。スタートアップ企業に対する各国政府の役割、官民組織の協力・サプライチェーン構築、再生可能エネルギーとの共存、核融合エネルギー開発途上国への技術移転、ジェンダーを含むダイバーシティの確保と人材育成など、核融合の実用化に伴う多様な側面での課題について聴衆との間で活発な議論があった。(井上)

(原稿受付日: 2024年1月22日)