



本会記事

■第14回核融合エネルギー連合講演会報告

1. 概要

核融合エネルギー連合講演会は、核融合発電に向けて加速する研究開発の成果を広く発信し、核融合エネルギーの研究開発に対する社会の理解と信頼を得ると共に、多様な学協会や産業界の皆様と広範な議論を展開する貴重な機会となっている。今回は特に、産業界との連携を強化することをめざし、「核融合エネルギー産業の創出に向けて」と副題を設定し、2022年7月7日(木)～8日(金)に開催した。新型コロナウイルスの影響が未だ衰えを見せないため、ZOOMやREMOを活用した初めてのオンライン開催となったが、参加者総数439名(正会員188名、学生会員107名、非会員16名、招待者7名、無料聴講学生121名)を集め、大変盛況に終えることができた。口頭発表については、招待講演、特別講演、パネルディスカッション、シンポジウムに加えて、核融合見本市参加企業からも口頭発表があった。口頭発表については従来の予稿に加えて、一枚のPowerPoint資料としてまとめたGraphical Abstractを求め、プログラムに事前に掲載するとともに、YouTubeや幕間のCMとして流したところ好評であった。また、一般講演については208件の発表があった。

本講演会の運営は、プラズマ・核融合学会と日本原子力学会(核融合工学会)が交互に行うこととされているが、今回は中止となった第13回に引き続き日本原子力学会が担当した。また、プラズマ・核融合学会に対して核融合工学会より正式に事務委託したことで、事務局機能を持たない核融合工学会側でも何とか運営できた。関係各位の協力に感謝申し上げる。以降、各セッションをコーディネートしたプログラム委員(兼実行委員)から当日の発表内容等について報告する。

第14回核融合エネルギー連合講演会
プログラム委員長兼実行委員長
笠田 竜太(東北大学)

2. 招待講演1「地球温暖化問題をめぐる内外情勢と課題」

有馬純氏(東京大学)より、カーボンニュートラルに向けて、核融合に対する期待が高まっているところの背景について、地球温暖化対策の観点から講演いただいた。本講演は一般公開講演としてYouTubeにおいても同時配信された。地球環境問題の最前線について、長らく行政官としてCOPに参加された御経験と最新の世界情勢に通じた高い視点より、カーボンニュートラルに向けた世界動向と、日本の課題について分かりやすく説明いただいた。先ず、温暖化防止のカギは途上国が握っているが、SDGsの文脈においては一人当たりのGDPと温暖化へのプライオリティは逆相関にあること、先進国も温暖化防止のための追加的支払い意志は低いことが示された。次

に、ウクライナ戦争前から特に天然ガス需要が高いヨーロッパにおいてエネルギー危機を迎えていること、COP26を受けて石炭のフェーズダウンからフェーズアウトをめざすような極端な議論が出てくる可能性があることが指摘された。このような中で日本においても2050年排出量目標を設定し、そこからバックキャストした2030年目標となる46%排出量削減が決まってしまったために第6次エネルギー基本計画の電源構成において、総電力需要を下げ、再生可能エネルギーのシェアを上げるなどかなりの困難さを含む計画となっていることが説明された。最後に、他国のエネルギー政策の状況を踏まえて、我が国の対応についても論じられ、核融合エネルギーに関する本会での議論に対する期待を述べていただいた。

笠田 竜太(東北大学)

3. 招待講演2「核融合エネルギー実現に向けた日本の研究開発戦略」

文部科学省研究開発戦略官(核融合・原子力国際協力担当)の稲田剛毅氏より、核融合開発戦略を指導する行政の立場から、「核融合エネルギー実現に向けた日本の研究開発戦略」について、ご講演いただいた。

まず日本の核融合開発は段階的に進めていることを述べられ、現在はITERやBA活動を中心として科学的・技術的実現性の実証段階にあることが述べられた。その後、世界の主要国では、カーボンニュートラルの実現に向けて、核融合エネルギー開発に関する各国独自の取り組みが2020年頃から加速し、国際競争の時代へ移行していることや、核融合ベンチャーへの投資が活発化していることが述べられた。特に英国では、球状トカマク(STEP)プログラムにより、核融合原型炉を2040年頃までに建設する予定であることが示された。

次に最近の国内政策について説明された。第208回国会で岸田総理が施政方針演説の中で、非炭素電源として核融合に言及されたこと、第6期科学技術・イノベーション基本計画(令和3年3月閣議決定)や第6次エネルギー基本計画(令和3年10月閣議決定)などで核融合エネルギーが取り上げられたことなどが紹介され、日本でも核融合エネルギー推進が重要な政策課題となっていることを述べられた。続いて、研究開発政策の検討状況や原型炉開発のための第1次中間チェックアンドレビューの内容が説明された。ここでは、ここまでの目標が達成されていることや、発電時期の前倒しが可能かどうか検討を深めること、産学官のステークホルダーが結集して取り組む必要があること、などが述べられた。

最後に研究開発人材の育成の重要性について言及された上で、今後の核融合研究開発に期待する旨を表明され、核融合研究開発分野の研究・開発に携わる我々が大きな力をいただいた講演であった。

上田 良夫(大阪大学)

4. 特別講演1「核融合エネルギーの取出技術と資源調達に向けた展望」

谷川博康氏(量子科学研究開発機構)より、「核融合エネルギーの取出技術と資源調達に向けた展望」について報告がなされた。核融合エネルギーの取出技術を概説したうえで、最新のブランケット設計検討の進展について紹介がなされた。具体的には、現在主案として検討が進む円筒型ブランケット設計に加え、新たに検討を開始したブロック状ペリライドを中性子増倍材として使用するブランケット設計概念の検討状況について報告され、ITER-TBM計画においては原型炉ブランケット設計最終案が炉内実環境で試験されることになることが示された。またブランケット技術を支える重要資源であるLiとBeについて、Li資源調達技術としての海水からのLi回収を可能とする「イオン伝導体リチウム分離法」、Be資源調達技術としての常圧下での熔融処理を可能とする「アルカリ・マイクロ波熔融技術」の紹介と社会実装に向けた取り組みが紹介された。質疑では、低放射化フェライト鋼の商用利用の可能性・戦略について議論がなされた。

野澤 貴史(量子科学技術研究開発機構)

5. 特別講演2「データ駆動核融合科学」

横山雅之氏(核融合科学研究所)から、「データ駆動核融合科学」と題した発表がなされた。物理階層や要素の積み上げと相補的な「データへの当てはめ」という統計数学の視点で、リアルタイム制御やそのための予測・判断が必要とされる現象を記述するという考え方に关する内容であった。データ同化制御、崩壊現象回避の実証、プラズマ性能・向上の観点での取り組み例が紹介され、統計数理的視点での現象記述(要素)を統合していく構想が提案された。データ同化手法からの物理モデリング、放射崩壊の有無を分類問題として見る際の境界の表現方法などについて活発な質疑が行われた。

坂本 隆一(核融合科学研究所)

6. 特別講演3「核融合アウトリーチHQがめざす社会との共創」

小川雄一氏(自然科学研究機構、核融合アウトリーチHQ構成員)より、大学及び研究機関が従来より個別に実施しているアウトリーチ活動を集約させ、一体となつて、戦略的なアウトリーチ活動を実施するために、文部科学省、量子科学技術研究開発機構、核融合科学研究所、大学等の関係者からなる「核融合アウトリーチヘッドクォーター(HQ)」の活動紹介に関する講演があった。HQ活動の戦略、各ステークホルダーに対しての情報発信の活性化、そして各ステークホルダーの対話を繋ぐ環境の整備に向けた方針について述べられた。最後に、アウトリーチ活動に関するアンケートを参加者に募ったところ、HQへの期待としてコミュニティ内で共有できるアウトリーチコンテンツの作成に期待するところが大きかった。また、核融合アウトリーチ活動の活性化に向けて、現時点での優先度を考えた場合、「アウトリーチ活動の人材の確保と育成」や「マスメディアやSNSの積極

的な活用」の優先度を高いとする回答者が多かった。これらの意見はHQでも共有されており、今後のアウトリーチ戦略を考える上で活かされるであろう。

笠田 竜太(東北大学)

7. 特別講演4「ITER計画の進展-調達の進展と運転期の議論-」

特別講演4として鎌田裕氏(量子科学技術研究開発機構)より、「ITER計画の進展-調達の進展と運転期の議論-」について報告がなされた。ITERの建設は着実に進み、初プラズマまでに必要な建設工程の77%を達成し、ITERの「運転」を具体的に構想する時期に入っていること、TFコイル、ダイバータ、RF加熱装置等の日本の物納機器の製作状況及びITERの運転実施に向けた「ITER日本研究チーム」をBA活動や原型炉設計活動と連携して構築していくことが紹介された。ITERの進捗状況、ITER建設に向けた規制との関係、今後の企業との連携や人材育成についての議論があった。

小林 和容(量子科学技術研究開発機構)

8. 特別講演5「BA活動の現状と今後の展望」

特別講演5として花田磨砂也氏(量子科学技術研究開発機構)より「BA活動の現状と今後の展望」として、主な活動である「IFMIF/EVEDA活動」、「IFERC活動及び原型炉に向けた開発研究」及び「JT-60SA活動」の進捗の報告がなされた。「IFMIF/EVEDA活動」では、入射器、高周波加速器(RFQ)、超伝導加速器(SRF)からなる原型加速器(LIPAc)の開発を段階的に実施していること、「IFERC活動及び原型炉に向けた開発研究」では、超伝導コイル、材料開発などの研究開発の進展や原型炉設計において基本設計レベルを達成したこと等、「JT-60SA活動」では、超伝導コイルの補修を実施し、その経験をITERへ提供するとともにプラズマ実験に向けた機器製作の進展状況等が紹介された。中性子源の利用に関する構想や人材育成に向けたスクールの状況についての議論があった。

小林 和容(量子科学技術研究開発機構)

9. 特別講演6「LHDの新たなフェーズにおける学術研究成果」

居田克巳氏(核融合科学研究所)から「LHDの新たなフェーズにおける学術研究成果」と題した発表がなされた。LHDでは、1億度に達するプラズマの生成法を確立し、2021年以降はそのような超高温プラズマを使った学術研究を推進するという新たなフェーズに入り、学際的・国際的な共同研究を進めている。その結果、2021年度のLHD実験では、海外の共同研究者による実験提案が3分の1を占め、半数以上が所外研究者からの実験提案となっていることが紹介された。また、その取り組みの下で行われた研究、とりわけ、乱流に関する様々な研究の成果が紹介され、活発な質疑が行われた。

坂本 隆一(核融合科学研究所)

10. シンポジウム1：パネルディスカッション「核融合炉を取り巻く産業構造のこれから」

第14回核融合エネルギー連合講演会では、核融合発電の実現に向けた産業界との連携強化をテーマとすることとなった。そこで、“核融合炉を取り巻く産業構造のこれから”というタイトルのパネルディスカッションを実施した。経営学を専門とする尾崎弘之氏(神戸大学)が司会を務め、複数のカテゴリーの企業から4名のパネリスト(福家賢氏(東芝エネルギーシステムズ株式会社)、長尾昂氏(京都フュージョニアリング株式会社)、桑原優樹氏(JICベンチャー・グロース・インベストメンツ株式会社)、矢崎靖典氏(ENEOSホールディングス株式会社))が参加した。

司会の尾崎氏(神戸大学)から、パネルディスカッションの趣旨説明がなされた。アメリカやイギリス、中国では比較的早い時期で商業炉を実現する計画が打ち出されており、日本が優位な立場で核融合事業を展開していくためにはロードマップを含めて開発計画の見直しも必要となるかもしれないという指摘がなされた。また、ITER関連の先端機器の製作には重電各社を始めとする様々な日本企業が大きく貢献しているものの、核融合炉を含むエネルギーバリューチェーンを構築していく上では、これまで以上に様々なカテゴリーの企業を巻き込んでいく必要があるという指摘がなされた。また、核融合炉のようなディープテック事業にとっては、“アカデミア”と“企業”との間に発生するギャップを大学発ベンチャーのような取り組みで埋めていく事が有効であると説明がなされた。こうした背景の下で、核融合の事業化に必要なこれからの産業構造に関する意見交換を、4名のパネリストや会場参加者と活発に行いたいというセッションの狙いが説明されて締めくくられた。これに続き、4名のパネリストからショートプレゼンテーションが行われた。

福家氏(東芝エネルギーシステムズ株式会社)からは、核融合産業振興のために必要なことについて説明がなされた。核融合炉の実用化に向けた流れの中で、民間企業における技術と人材の継続的な維持の重要性と、その困難な点について説明がなされた。また、商業炉の建設には、許認可や資金調達から、原材料供給会社までの様々な企業を巻き込んだ産業構造の構築が必要であり、こうした構造を維持する活動として小型高速炉開発の例が紹介された。核融合炉の小型化に関わる活動や、機動性に富むスタートアップ企業の活躍に期待したいというメッセージが寄せられた。

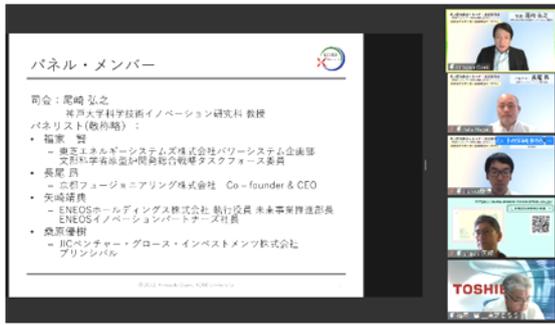
長尾昂氏(京都フュージョニアリング株式会社)からは、核融合炉を取り巻くスタートアップ企業の状況について紹介がなされた。海外では政府が核融合炉の実現に対して前向きな姿勢が続いており、こうした事を背景に、ここ数年で核融合関連のスタートアップに対する投資が大きく伸びている事が紹介された。こうした動きに連動するようにして、核融合炉のエネルギー変換用機器を提供する企業として京都フュージョニアリング株式会社を設立し、資金調達額が17.6億円に達している事が紹介された。

桑原優樹氏(JICベンチャー・グロース・インベストメンツ株式会社)からは、新産業創出におけるスタートアップとベンチャーキャピタルの役割について説明がなされた。研究開発型スタートアップに関しては、アカデミアステージから始まり、製品の量産化へ向けて、時には15年以上にわたる時間をかけながら、途中で魔の川、死の谷、ダーウィンの海と呼ばれるハードルをクリアする必要がある。ベンチャーキャピタルは、こうしたハードルを乗り越えるためのリスクマネーを提供する役割を担っていると説明がなされた。スタートアップへの投資を行うためのファンド運営に関する仕組みや、スタートアップによる新産業創出の成功事例などが紹介された。核融合炉開発についてはマーケットリスクに加えて、サイエンスリスクも存在するため、こうしたハイリスクに見合うだけのハイリターンを生み出すためにグローバルな事業展開が必要であるという説明がなされた。また、ベンチャーキャピタルに関しては、一般的には10年程度のファンド期限があるため、核融合エネルギーの実用化の手前でも上場や大企業による買収が実現するためのビジネスモデルを確立することが求められるとの説明がなされた。

矢崎靖典氏(ENEOSホールディングス株式会社)からは、低炭素・循環型社会において必要な技術やサービスを背景に、ビジネスとして行われている様々な活動について紹介がなされた。その例として、モビリティの電動化を見据えた新たなエネルギー供給方法や、それに必要なプラットフォームの整備などが紹介された。こうした活動を展開する上で必要な議論のプロセスや、実証実験の内容について説明がなされた。

この後、会場の参加者を巻き込む形で、パネルディスカッションが行われた。会場からは、『福家氏の発表スライドで』小型原子炉を開発することで災害時の被害を軽減とあったが、環境負荷は通常の大きさのものと比べてどうなるのか』という質問があり、これに対して福家氏からは『環境負荷が使用済燃料と考えるならば、発電量単位あたりの負荷は変わらない。開発が盛んなのは、初期投資が小さく済むなどの利点が多い』という回答があった。『核融合炉自体の建設をめざす企業は必要なのか』、『(海外に比べると)日本は資金(投資)があつまりにくいのはなぜか』といった質問があった。これに対しては、司会の尾崎氏から『日本は文化的に海外とは投資の規模が大きく違うため、海外のスタートアップと同じ規模の投資は集まらないかもしれない。そのため核融合炉の建設をめざすスタートアップの創出も簡単ではない』という回答があった。『製品等の実証(プロセス)のスケールというのはわかるが、濃さというのは何か』という質問があり、矢崎氏から『全国展開をする必要はないが、十分なデータが取れるだけの調査を狭い範囲でも良いので密度を濃く重点的に実施する事だ』と回答があった。他にも様々な質問がチャットで寄せられた。

コロナ禍でリモート開催ではあったものの、“核融合産業のこれから”というホットでタイムリーなテーマであったこともあり、核融合炉の実現を望む学生・若手か



パネルディスカッションの様子。

ら長く核融合を研究してきたベテラン勢まで幅広い世代が参加して活発な意見交換を実施する事ができた。パネルディスカッションの企画立案からパネリストの選定、当日の司会まで、プログラム委員会の希望に沿ったセッションの実施に多大な貢献をしてくださった尾崎氏に感謝の意を表す。また、多忙な状況にも関わらずパネリストとして貴重なご意見をくださった福家氏、長尾氏、桑原氏、矢崎氏に感謝の意を表す。

近藤 正聡 (東京工業大学)

11. シンポジウム 2 「原型炉研究開発の課題と取組」

核融合エネルギーの実現に向けて研究機関、大学、産業界は、それぞれの立場で研究開発に携わってきたが、原型炉実現という新しいステージに進むにあたっては、設計に関わる幅広い知見と統合力を有する研究機関、学術的知見を応用した課題解決力・応用力を有する大学、ものづくりの高度な技術力・開発力・経験を有する産業界が連携することが不可欠である。2015年6月には、英知を結集する組織として、原型炉設計合同特別チームが立ち上がり、オールジャパン体制で原型炉開発に取り組んでいる。本シンポジウムでは、原型炉研究開発への研究機関、大学、産業界の取り組み状況について情報共有するとともに今後の課題について議論することを目的とした。また、原型炉研究開発ロードマップでは、原型炉研究開発項目として、①原型炉設計活動、②原型炉用シミュレーターの開発、③安全性研究・トリチウム取扱、④炉工学と関連基盤研究の4つが掲げられていることから、本シンポジウムでは、項目③に関連するトリチウム管理の現状について情報共有するとともに、トリチウムの課題について今一度考える機会とする。

はじめに、坂本氏 (量研機構) より、原型炉設計合同特別チームの多岐にわたる取り組み状況について、主要な課題を中心に説明された。超電導コイルについては、国内の専門家で構成されたワーキンググループにおいて検討を重ね、ベースライン仕様策定されたことが紹介された。ダイバータについては、高熱負荷・低中性子照射部には銅合金の冷却配管、低熱負荷・高中性子照射部にはF82Hの冷却配管を使用する設計とし、銅合金を使用した冷却ユニットは、独立して交換できる構造とすることが説明された。増殖ブランケットについては、ITER-TBM試験で予定されている固体増殖・水冷却方式を採用し、構造材が占有する体積を抑えることで燃料生産性を向上でき、万が一

冷却材から漏水が生じた場合においても、増殖ブランケット筐体の堅牢性を確保できるハニカム構造とすることが説明された。遠隔保守方式については、①上下両端をしっかりと掴む機構を備えたエンドエフェクタ、②腕の長さを変えて集合体を上下動させるテレスコピックマニピュレータ、③トーラス方向に回転する機能を備えた台車、④水平方向の位置を調節するパンタグラフから構成される遠隔機器の概念を構築したことが説明された。発電設備については、既存技術を適用できるように加圧水型原子炉の冷却水条件を採用し、主熱輸送系の機器配置を検討するとともに、有効熱出力 1,865 MW、発電端電気出力 640 MW、送電端電気出力約 250 MW となる見通しであることが説明された。燃料システムについては、三重水素インベントリ低減の観点から、真空容器より排気したガスから不純物ガスを取り除いた燃料ガスをガスパフやペレットにより真空容器へ入射するダイレクトリサイクル方式を採用することで、水素同位体分離系での三重水素インベントリを低減することが可能であることが説明された。

次に、今川氏 (核融合研) より、大学等を対象とする原型炉研究開発共同研究の仕組みと取組状況について説明された。本共同研究は、文部科学省におかれた原型炉開発総合戦略タスクフォースにおいて2017年に策定された「原型炉開発に向けたアクションプラン」に掲げられた開発課題に対して、大学等の研究ネットワークを強化して組織的に取り組むことにより大学等の自主・自律的な研究活動を活性化し、研究進展を加速するとともに原型炉建設時に中核となる人材を育成することを目的とする新しい枠組みとして2019年から実施していることが説明された。また、アクションプランを直接的に遂行する共同研究はQSTが、大学等の自主・自律を前提とし中・長期的な人材育成を含むアクションプランを遂行するための共同研究はNIFSが、それぞれ中核機関の役割を担い、プロジェクトディレクター的機能を持つ共同研究ワーキンググループが、QSTとNIFSが実施する共同研究のガイドラインを示し、共同研究調整サブグループ会合において、課題毎のプロジェクトオフィサー(PO)が共同研究の公募テーマ立案、担当する共同研究の進捗把握・助言する体制で運用されていることが説明された。QST共同研究の公募内容は、アクションプランを直接的に遂行する研究課題(公募時に指定)について、研究期間3年程度(最長5年)、予算申請額は100万円以下/年であること、NIFS共同研究の公募内容については、(A)課題指定型:研究期間3年、予算申請額3年間総額で上限1,500万円、(A')課題指定型(応募年度4月1日時点で39歳以下の研究者が、一人で取り組む研究):研究期間3年以内、予算申請額は総額で上限500万円、(B)課題提案型(新興・融合分野との連携等により、これまでになかったような新たなアプローチで取り組む課題):研究期間単年度のみ、予算申請額は上限100万円であることが紹介された。最後に、2021年度の採択課題と、2022年度の公募テーマが紹介され、毎年約150名の大学教職員と100名近い学生が参画しており、

研究の進展のみならず、原型炉建設を牽引していく人材の育成にも貢献していることから、引き続き多くの方々の積極的な参加を期待するとの意見が述べられた。

続いて清水氏（三菱重工）より、ITER計画及び原型炉計画への三菱重工の取り組みについて説明された。三菱重工は、1980年代より国内外の核融合研究開発に参画し、主に真空容器、高熱負荷機器（第一壁、ダイバータ）、燃料システム（燃料供給、トリチウム関連）と本体廻りの機器、設備に取り組んでおり、ITER計画の概念設計活動、工学設計活動では、最大で6～7名ほどの技術者を設計サイト（サンディエゴ、ガルヒンク）に派遣して業務を行っていたことが紹介された。近年では、原子力製品で培った大型構造物の取扱い技術と新たな技術とを融合させることで、ITER要求を十分に満足するトロイダル磁場コイル実機を完成させ、2021年7月までに4機出荷してITERサイトにて組立に向けた準備が進められており、これらの業務は、国際プロジェクトという枠組みの中で、若手技術者が実践的な経験を積む良い機会でもあったことが述べられた。原型炉設計への参画は、Slim-CSの概念検討に始まり、近年では、炉構造と遠隔保守との整合性に留意したブランケット、ダイバータ等の容器内機器構造概念及び保守シナリオを検討していることが紹介されるとともに、六ヶ所研にブランケット安全実証試験装置群（大面積高熱負荷試験装置、高温高圧水噴出漏洩試験装置、高温高圧腐食試験ループ、Be反応試験装置など）を納入したことが報告された。また、核融合に関する広報活動を積極的に展開しており、世界の技術トレンドや社会の変化を三菱重工グループが独自の目線で国内外に紹介する“SPECTRA”での核融合のトピック紹介や、経済誌Forbesでの海外発信、三菱重工技報への投稿、自社HPでの核融合プロジェクト動画配信などの取り組みが紹介された。最後に、原型炉は建設、稼働までには20年～30年要することから、人材育成と技術伝承が大きな課題であり、原型炉設計活動では技術の伝承も踏まえて若手の参画を推進していくこと、また原型炉は発電プラントであることから、運転・保守を含めた事業運営体制確立へも協力していくことが述べられた。

最後に鳥養氏（茨城大学）より、トリチウム管理に係る法規制や原子力施設からのトリチウム放出の現状について説明された。冒頭において、原型炉設計合同特別チームの下に立ち上がったトリチウム諸課題ワーキンググループについて紹介され、①環境中トリチウムの管理目標の調査・検討、②トリチウム燃料サイクル、③大量トリチウム取扱施設、④トリチウム確保戦略、⑤真空容器内トリチウムインベントリー評価について議論が行われていることが紹介された。トリチウムに係る法規制については、放射性同位元素等の規制に関する法律に基づき、トリチウムは数量 1×10^9 Bq、および濃度 1×10^6 Bq/gの両方を超えた場合に規制対象となり、吸入・経口摂取した場合のトリチウム水の実効線量係数は 1.8×10^{-8} mSv/Bqと定められていること、大人の場合は摂取後50年間、子供の場合は摂取後70歳までの被ばく線量をそ

の年に受けたと見なす預託線量という考え方にに基づき、国際放射線防護委員会が人体に問題ないとする濃度は60,000 Bq/Lであることが説明された。原子力施設からのトリチウム放出については、日本の主要な原子力発電所における2006年度～2012年度の隔年でのトリチウム年間放出実績として、数10 $\mu\text{g-T}_2$ (10^8 Bq)から0.5 g- T_2 (10^{14} Bq)であったことが示され、原子力発電所からのトリチウム放出による実際の公衆被ばくは、公衆の被ばく限度である1 mSvの1/1000の1 μSv 程度であることが説明された。原型炉定常運転時のトリチウム放出については、年間1 g- T_2 (3.6×10^{14} Bq)を下回ることが想定されているが、今後、保守時や事故時の事象について詳細に詰め、トリチウム放出シナリオを作成して原型炉における放出管理目標値を検討する計画であることが説明された。加えて、海外の原子力施設からのトリチウム年間放出量について、ラ・アーグ再処理施設（フランス2015年）：約38 g- T_2 (1.37×10^{14} Bq)、セラフィールド再処理施設（イギリス2015年）：約4.3 g- T_2 (1.54×10^{15} Bq)、ダーリントン原子力発電所（カナダ2015年）：約0.67 g- T_2 (2.4×10^{14} Bq)等が示され、海外の原子力施設からは、大量のトリチウムが海洋に放出されていることが紹介された。最後に、大量のトリチウムを取り扱う原型炉の実現には、社会からの信頼が不可欠であり、関係者は常にその努力を行い続ける必要があることが述べられた。

総合討論においては、大学在籍中の学生がQST等の研究機関において、昔の原子力機構の際の特別研究生のように、ある程度のお金も支給されるような形で、原型炉関連の研究活動に取り組めるようにするなど、将来を見据えた積極的な人材育成の仕組みを構築していただきたいとの意見が述べられた。

片山 一成（九州大学）

12. シンポジウム3「レーザー核融合エネルギーへの新潮流」

日本ではレーザー核融合高速点火方式による核融合プラズマの高効率な加熱が達成され、米国では国立点火施設にて入力したレーザーのエネルギーに匹敵する核融合出力が観測されるなど、レーザー核融合の炉心プラズマの研究はこの数年で飛躍的に進展した。一方、レーザー核融合は大規模で単発の高出力レーザー装置を用いて研究が行われてきたため、炉心プラズマの連続的な生成や連続的に発生する核融合エネルギーの回収・利用の研究が後回しにされていたのは否定できない。高出力レーザー装置の高繰り返し化への足枷である熱問題を解決する革新的技術が近年誕生し、上記の炉心プラズマ性能の飛躍的向上も相まって、エネルギー源としてのレーザー核融合が世界的に注目を集めている。本シンポジウムでは、高出力レーザー開発の世界的動向とレーザー核融合エネルギーの動向を紹介した後に、レーザー核融合プラズマ性能の紹介、高繰り返し高出力パワーレーザーを基盤とした未臨界核融合炉の設計・検討の状況、更にレーザー核融合炉から放出される熱を利用した水素の生成について講演をいただいた。炉心プラズマの連続生成に向

けたレーザー以外の技術開発等について、講演者と聴衆の間で質疑が交わされた。従前とは異なる視点でのレーザー核融合の魅力を聴衆に伝えられたならば幸甚である。

藤岡 慎介 (大阪大学)

13. 一般講演 (ポスターセッション)

一般講演は、Web 会議ツール Remo を利用したポスターセッションとして、会期中の両日午後で開催された。一日目は若手発表賞の審査を兼ねて学生および若手研究者による講演 111 件が、二日目には一般参加者からの講演 80 件が行われた。分野の内訳は、炉設計 (9 件)、超伝導コイル (9 件)、ブランケット (20 件)、ダイバータ (17 件)、加熱・電流駆動システム (18 件)、炉心プラズマ (18 件)、核融合燃料システム (12 件)、炉材料と規格基準策定 (25 件)、安全性と安全研究 (2 件)、稼働率と保守性 (1 件)、計測・制御 (17 件)、レーザー方式の研究開発 (15 件)、社会経済研究 (1 件)、プラズマ基礎・応用 (12 件)、核融合中性子源 (11 件)、その他関連研究 (4 件) と多岐にわたり、核融合を取り巻く学術の広がりが見て取れた。また、Web 会場には核融合見本市に出展している企業のブースも用意された。ポスターセッションは各日一時間半程度と限られていたものの、活発な議論が交わされた。特に学生にとっては、学会発表の機会が限られていた昨今の状況を考慮すると、シニアの研究者や同じ学生が一堂に会する本会での発表は、貴重な経験になったに違いない。一方、数百人に及ぶ発表者および聴講者が Web 上で不自由なく往来するのはやはり至難の業で、ポスターが見られないなどトラブルが生じた場面もあったものの、概ね問題なく実施できたのは事務局の綿密な準備と当日の的確なサポートによるものである。改めて感謝の意を表す。

近田 拓末 (静岡大学)

14. 若手表彰

一般講演論文の筆頭著者のうち、大変優秀な発表を行った若手研究者 (博士の学位取得後 5 年以内または学部卒業後 10 年以内) 及び学生を表彰し、若手優秀発表賞を授与した。候補者の募集に対し、111 名の申請があった。候補者 1 名に対し、講演会の参加者 3 名が講演論文と発表を審査した。審査項目は、(1) テーマ・内容の新規性、独創性、物理的・工学的・社会的意義、(2) 研究方法の妥当性、正確性、成熟性、(3) 研究成果に関わる論旨の展開と一貫性、物理的・工学的・社会的なインパ

クト、(4) 発表手法におけるわかりやすさ、まとめ、及び (5) 質疑応答より評価される貢献度、理解度である。審査結果をもとに組織委員会委員長及びプログラム委員会兼実行委員会が受賞者を選考した。その結果、炉設計、ブランケット、加熱・電流駆動システム、炉心プラズマ、核融合燃料システム、炉材料と規格基準策定、計測・制御、レーザー方式の研究開発、プラズマ基礎・応用の様々な研究分野から 13 名の若手研究者及び学生が若手優秀発表賞を受賞した。講演会最終日のクロージングにて賞を授与し、講演会ホームページに受賞者を掲載した。

長坂 琢也 (核融合科学研究所)

15. Best Audience Award

オンライン学会では、ポスターセッションにおける聴講者数の各ポスター間の濃淡が極端になる傾向があり、特に若手の育成の観点から大きな課題となっている。今回、実行委員会では「Best Audience Award」を初めて設定し、若手ポスター発表者側が有益な議論を行った来場者に対して投票できるシステムを導入した。この結果、高橋 宏幸さん (東北大学)、山崎 樂さん (電力中央研究所)、野澤 貴史さん (量子科学技術研究開発機構) の 3 名の方が受賞された。今回の表彰が契機となり、オンライン学会におけるポスターセッションの活性化に繋がれば幸いである。

笠田 竜太 (東北大学)

16. 核融合ビジネス見本市

「核融合エネルギー産業の創出に向けて」の活動の一環として、核融合開発を牽引しているメーカーや、核融合スタートアップ企業の事業内容・強みを紹介する「核融合ビジネス見本市」を開催した。初めての試みであったが、9 社 (株式会社アライドマテリアル、株式会社 EX-Fusion、株式会社化研、株式会社 Helical Fusion、京都フュージョニアリング株式会社、金属技研株式会社、三菱重工業株式会社、大和合金株式会社) の参加が得られ、盛会のうちに終わることができた。

オンライン会議の特長を活かし、登録参加者のみならず、海外を含む一般の方へも公開することを前提としたオーラルセッションとポスターセッションの 2 部構成とした。オーラルセッションでは、ZOOM にて各社 10 分程度の事業紹介を英語で行い、それを YouTube を通して全世界へ発信した。ZOOM での参加者が 120 名程度、YouTube 視聴者が 50 名程度、合計 170 名程度の参加が



Best Audience Award 受賞者 (左から野澤氏、高橋氏、山崎氏)。

得られた。また、ポスターセッションはRemoに特設会場を設けて行った。本会会期中は自由にアクセスできる形式とし、延べ150名程度(発表者を含む)の入場があった。学生の参加が多くあり、キャリアイメージ構築の一助にもなった。一方で、「広く一般の方に参加していただくこと」と「セキュリティ」の両立については難しい点が多く、結果としてややわかりにくい運営方式になってしまった。運営方式について、良かった点、改善すべき点などのフィードバックを期待している。

核融合エネルギーの実現には、学術研究の進展に加え、産業基盤の構築と継続的な若手の育成が不可欠である。今後もこのような行事がより良い形式で実施され、例えば核融合エネルギー協会の設立など、強力な産官学連携につながることを願っている。

波多野 雄治 (富山大学)

17. おわりに

多くの方のご尽力とご協力により本講演会を成功裏に終えることができましたことを、厚く御礼申し上げます。また、今回のプログラム等は、コロナ禍で中止となった第13回のを参考にさせていただきました。この場をお借りして、第13回の企画に携わっていただいた方々に心より謝意を表します。連合講演会としては初めてオンラインでの開催とし、また聴講のみの学生さんの参加費を無料としたところ、オンライン開催の威力が発揮され100名以上の聴講者が得られました。比較的運営の自由度が高い核融合エネルギー連合講演会の特徴が活きたと考えています。第15回はプラズマ・核融合学会の担当で2024年度に青森県八戸市にて開催される予定です。より盛会となるよう祈念し、本稿のまとめとさせていただきます。

第14回核融合エネルギー連合講演会 組織委員長
波多野 雄治 (富山大学)