

市民説明会におけるご質問と回答の概要

令和4年12月14日

自然科学研究機構核融合科学研究所

核融合科学研究所では、令和4年度の市民説明会「核融合研究の進展と大型ヘリカル装置（LHD）の研究成果」を、土岐市（9月2日（金）、3日（土））、多治見市（9月8日（木）、11日（日））及び瑞浪市（9月13日（火））において開催しました。

説明会は、平成18年度から新型コロナウイルスの影響により中止した昨年度を除き毎年実施しています。16回目となる今年度の説明会は、土岐市2会場で66名、多治見市2会場で47名、瑞浪市1会場で18名（3市合計131名）の方にご参加をいただきました。

説明会では、エネルギー・環境問題と核融合エネルギーの必要性、国際協力によってフランスで建設が進んでいるITERなど国内外の研究開発の状況、LHDの重水素実験の成果と安全管理、そして、今年度で重水素実験が成功裏に完了すること、来年度からは重水素を用いた実験は行わず、したがって新たな中性子及びトリチウムの発生はなくなるが、今後法令に従った適切な管理を継続していくことを説明しました。

参加者の皆様からは、今後の研究計画、将来の核融合発電等に関してのご質問や技術的なご質問に加え、情報公開の重要性等について、貴重なご意見をいただきました。市民説明会でいただいたご質問並びにご意見と、それらに対する核融合科学研究所の回答を以下にまとめました。各会場で出されたご質問の内容を、「核融合科学研究所について」、「研究成果について」、「実験の安全性、安全管理について」、「今後の研究計画について」、「将来の核融合発電について」、「情報公開について」の各項目に集約して掲載しています。また、説明会で使用した資料もホームページに掲載いたしました。

研究所では、今後も研究成果等についてご説明する機会を設けていくとともに、より一層の情報公開に努めてまいります。ご参加いただいた皆さまに御礼申し上げますとともに、説明会開催にご協力いただいた市民の方々並びに3市の関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

令和4年度 核融合科学研究所市民説明会 Q&A

<水素同位体の表記について>

水素の同位体には、(軽)水素、重水素、三重水素の3種類がありますが、本資料では三重水素をトリチウムと表記します。

<実験装置の表記について>

核融合科学研究所の実験装置、「大型ヘリカル装置」を略称である「LHD」と表記します。またフランスに建設中の核融合実験炉を「ITER」と表記します。

【核融合科学研究所について】

Q ウクライナ情勢による世界規模の変革が起きている中、核施設が狙われるとの心配もあるため、この機に研究所の施設名を変えてはどうかとの意見が市民の中にもありますが、どうお考えですか。

A 確かに核という言葉が、ネガティブなイメージを喚起することは事実ですが、私共が行っている核融合科学研究、核融合科学というものは、そういったものではないことを丁寧に説明してきました。今後もその姿勢は変わりません。長い目で見てどのようなかは分かりませんが、今のところ名称を変えることが議論にはなっていません。

Q 研究所の組織の人数について教えてください。

A 研究所に所属する研究教育職員は、約120名、大学院生等が約60名、技術職員が約40名、事務職員が約40名で、計300名程となります。

【研究成果について】

Q 核融合科学研究所での実験の成果によって、実用化の目途は立ってきていますか。

A 研究所では、プラズマの温度が1億度に達したこと、そのプラズマの性質を精密に調べることによって、着実に成果を挙げています。あとはプラズマを効率よく持続することができれば、この成果を発電所の基本技術として応用することができます。ですから着実に実用化に近付いています。

Q 当初1990年後半から見ると、30年後にはある程度、発電所の姿が見えていると思っていましたが、30年近く経った今、まだ実際の核融合を起こすのに必要な基礎的研究の段階で、まだ達成していない課題がありそうです。この30年の間で、どのくらい進みましたか。また、核融合科学研究所は、この分野の中では、トップランナーとして走ってきたと思いますが、他の研究機関の研究も進んでいる中で、現時点でもトップランナーとして走り続けているのですか。

A 最初は、核融合発電は簡単にできるのだろうとの見込みで核融合科学研究が始まりました。その原理は、太陽の中で起こる現象ですが、当時は物理的なことが全く分かっておらず、やればやるほど難しい課題が出てきました。30年くらいで、できるといった見込

みでしたが、次から次へと難しい課題に直面し、それを解決することを繰り返してきたのが核融合科学研究の歴史です。ところが今は、科学的な課題が整理され、何を解決すれば核融合発電が実現できるのか、いわゆるロードマップとして具体的に示されています。そのような状況で今は 30 年後と言っています。30 年前に 30 年後と言っていたのは、少し状況が異なります。また、本日の説明の中でプラズマの温度が 1 億 2 千万度になったことを報告しましたが、その温度の達成値という意味では、もはや世界トップレベルではありません。しかし、プラズマの内部で起きている非常に複雑な現象を、時間的、空間的に高分解能で観測する能力については、LHD が圧倒的に世界トップと言えます。

【実験の安全性、安全管理について】

- Q 最近の社会情勢で、ウクライナ、台湾、北朝鮮のことがあり、日々とても不安を感じています。世界の他の同じような施設では、地下にそういった施設を作って研究をしているとのことを耳にしました。核融合科学研究所は山の上にあります、衛星から丸見えであるため、ミサイルで狙われたりしないですか。南海トラフ等の地震の際、コンクリートの壁が崩壊したときに、どうになってしまうのかと不安になります。
- A 研究所の実験により放射線は出ますが、放射線が出るのは、プラズマ生成中の数秒間だけです。プラズマが消えると放射線は出ません。もしも何かあったとき、例えば地震や、建物に飛行機が落ちたときには、実験装置の電源が止まります。プラズマの温度も下がり、消えてしまうので放射線は出なくなります。名称に核の字がつきますが、地下にあるような軍事的な施設ではないため、研究所が外国に狙われることはないと考えます。
- Q 核融合科学研究所では、水素を扱うということですが、水素爆弾に関連し、爆発するのではと不安になります。
- A 水素爆弾と研究所が生成しているプラズマとは原理が全く違います。また実験で水素を扱いますが、使用量が少ないため、爆発の危険性はありません。
- Q 安全監視委員会が今まで 11 回開催され、周辺環境への影響がないことの確認がされているとの説明でしたが、重水素実験終了後はこの委員会についてどのようになるのでしょうか。
- A 安全監視委員会は、岐阜県と 3 市（土岐市、多治見市、瑞浪市）が設置した研究所とは独立した第三者委員会です。重水素実験については、今年度の実験が最後となります。重水素実験終了後は中性子やトリチウムの発生はありません。そういった状況を踏まえて、県と 3 市が委員会について、どのようにされるのか、私共は、その判断を待つこととなります。
- Q 2017 年から実験が始まり、環境放射線の測定もその頃から始まっていたとの説明でしたが、もっと前から始まっていたと思いますが。
- A LHD を使った実験は 1998 年から開始しており、2017 年から重水素実験を開始して

います。主に放射線が発生するのは重水素実験においてですが、環境放射線量測定については蛍光ガラス線量計を用いたものを、土岐市において1996年より、多治見市において1998年より実施しています。

Q 研究所周辺の下石や多治見において環境放射線を測定しているとのことですが、測定方法は、TLDを使っているのですか。

A かつてはTLDによる測定も行っていましたが、1996年からは蛍光ガラス線量計を使って測定しています。また、蛍光ガラス線量計による測定結果については、研究所のホームページでご覧いただけます。

Q トリチウムの説明がありましたが、これは、福島原発で海水に流すと言われているトリチウムと一緒にものですか。

A 福島原発処理水に含まれるトリチウムと同じものです。ただし、研究所で管理しているトリチウムは微量であることと、河川等に排水はしておらず、日本アイソトープ協会へ引き渡しています。

Q 下限数量未満のトリチウムが発生するとのことですが、それをどうしてアイソトープ協会に引き渡す必要があるのですか。

A 1回1回の実験で発生する量は、下限数量以下ですが、それを回収し保管すると下限数量以下ではなくなるためです。

Q 核融合反応は、たまにできるとの説明でしたが、意図的にコントロールして起こしているのですか、たまたま偶然に起きているのですか。

A 核融合反応については、使うガスの種類と温度によって反応確率が決まっています。一番確率が高いのは、重水素とトリチウムの混合ガスとなります。研究所では、トリチウムは使っておらず、重水素だけを使用していますが、この重水素実験においても確率は低いですが核融合反応が起きます。この反応確率は、温度が高くなるにつれて上がっていることが分かっています。

【今後の研究計画について】

Q 重水素実験で一定の成果が挙げられたとの説明があり、その中で乱流のことが明らかになってきて、その乱流がプラズマを台無しにするとのことでした。重水素実験は今年度最後となり、来年度以降は、軽水素やヘリウム等を使った実験を行うとの説明ですが、乱流の程度が重水素実験と軽水素実験ではおのずと違うのではないですか。核融合発電に向けた乱流の解明については、重水素実験をやらないと分からないのではないかと思いますか。

A 重水素を使った方がプラズマの性能が良かったわけですが、その理由はまだ十分に解明されていません。経験的に分かってきたのは、重水素プラズマの方が乱流の影響が軽減されることです。乱流に関する学問的理解は未解決な部分が多いですが、その研究については、必ずしも重水素を使用する必要はなく、軽水素を使用しても十分な研究ができ

ます。重水素実験を行うと、安全管理により大きなコストも生じます。そういう観点から、一番コストパフォーマンスが良い研究計画を考え、重水素実験を予定どおり成功裏に完了することとしました。

Q 過去にはエネルギーが偏在していることから戦争になった経緯もあるため、今後、エネルギー問題、ひいては、戦争を起こさないためにも、発電の実用化に向けて努力いただき、貢献してもらいたい。また、ITER の実験では、発電の見通しはないと思うが、今後の発電に向けての見通しをお聞きしたい。ITER はトカマク型なので、今後はトカマク型が主流になり、実験も D-T 実験を行うこととなりますが、そうすると、核融合科学研究所の存在価値が薄れてくるのではとの懸念があります。ヘリカル型については、どのような形で ITER に反映させるのか、また、将来の発電所において、トカマク型からヘリカル型に移行することがあるのか、教えていただきたい。

A ITER については、実験炉といった位置づけであり、核融合で出てきたエネルギーで発電させることは、計画の中に入れていません。国際協力による ITER でプラズマが核融合反応を起こして、エネルギーが出てくることを実証したら、その成果をもって、次は国家プログラムによって、それぞれの国で原型炉の開発を行うことになると思います。今までがサイエンスとしての国際的な共同研究をしてきた時代から、今後は国際的な競争の時代へと移っていきます。各国がしのぎを削り、2050 年代に実用化されたときに、どこの国の核融合炉が世界でトップであるかといったフェーズに入ってくると考えます。日本では、開発研究と学術的な基礎研究(学術研究)の二本柱でやっていくことになり、開発研究では、現在の量子科学技術開発研究機構(QST)が担います。学術研究は、大学の中核的機関としての核融合科学研究所が担います。例えて言うと、開発研究が臨床医学の研究であれば、学術研究は病理学の研究であって、プラズマの中でどういうことが起きているのかを正確に見ることになります。最近のコロナにあるウイルスの遺伝子の学問があつて、はじめて対策ができるわけで、遺伝子学がないと薬ができないのと同じようなものです。基礎研究を行うことが非常に重要で、そこに多くの未解決な重要な学問的な課題があります。

Q 核融合については、二酸化炭素を発生せず、環境に良いとのことで、SDGs に貢献できるため、発電の実現ができると良いと思っています。1998 年から軽水素で実験を始め、2017 年から重水素の実験を開始し、プラズマの温度が 1 億 2 千万度に達する等大きな成果を挙げて国際的にも評価を受けているとの説明がありました。そこで、この実験については、10 年間の実験計画との事業措置があり、今年度で終了するとのことで、一段落したとの説明でしたが、今後の日本の核融合の研究は、土岐市(核融合科学研究所)での実験装置である LHD のヘリカル型ではなく、トカマク型が主流であると新聞等の報道により見受けられます。そして、茨城県那珂市の量子科学技術研究開発機構(QST)にある JT-60SA のトカマク型装置の実験が始まると聞いていますが、核融合の研究はトカマク型に取って代わるものなのですか。

- A QSTにあるトカマク型装置 JT-60SA については、ご質問のとおり、間もなく実験が開始される予定です。こちらの QST での研究は、開発研究であり、装置を作って核融合炉の開発を進めるフェーズに入っています。この開発のフェーズでは、プラズマの中を観測する計測装置等がそれほど多く設置されていません。プラズマの中の現象を時間的・空間的につぶさに観測をして、色々なことを調べるのは、高性能な計測器が設置されている研究所の LHD が世界一の装置であると言えます。そういった意味で、これからは、双方協力し合って、開発型の装置とプラズマの中身を学術的に調べる装置を統合させて、最終的な核融合炉を建設することになります。最終的な核融合炉の初号機はトカマク型で作られると考えられますが、ヘリカル型もトカマク型もプラズマを作る装置であり、閉じ込める磁場のかごが違うだけで、できるプラズマは同じです。研究所で行う実験・研究も、核融合炉の開発に大いに貢献できるものです。
- Q 今後、主流である D-T (重水素とトリチウム) の燃料を使わないで、どこまで基礎的な研究ができるのか、心配です。
- A D-T 実験を行うのは、ITER とイギリスにある JET のみで、大きなエネルギーが出てくるので、逆に物理の研究をするのが難しくなってきます。研究所は、プラズマの中で何が起きているのかを研究するため、D-T 実験は行いません。D-T 実験を行って、入れたエネルギーよりも十分に大きなエネルギーが出てくることを実証するのが ITER です。これは、様々な装置が色々な役割を担い、総合的に上手く稼働することを実証するため、各国がそれぞれの特長を生かして重要な貢献をしています。ITER が稼働するまでは、日本の JT-60SA がその役割を担うことになります。研究所の LHD にも重要な役割があります。LHD はプラズマの中で何が起きているのかを正確に計測できる世界でトップクラスの装置です。起きている現象をつぶさに計測することができるため、その点で多くの貢献をしています。世界各国には、様々な装置があり、それぞれの装置の特長を生かした独特な取り組みをし、多くの課題に対して貢献をしています。
- Q 本日、夕方のニュースで、核融合の開発推進を検討する会議を設置し、来年の4月頃までに具体的な戦略をとりまとめるとのことを政府が発表しましたが、このことについて、核融合科学研究所も関与するのですか。
- A そのニュース自体は、こちらに移動中であつたため詳細について分かりませんが、国会における総理の所信表明演説の中でも、核融合エネルギーについての言及がありました。そういった中で、核融合エネルギーを開発する人材育成がとても重要になると考えられ、研究所は学術研究機関として、人材育成をしていく役割を担っていきます。核融合への期待が、政治の場でも高まっているフェーズにありますので、ラストスパートをかけ、「2050年カーボンニュートラル」に向けて研究を進めたいと考えています。
- Q 中国の核融合開発の現状と核融合科学研究所との関係を教えてください。
- A ITER が稼働するまでは、国際的な協力で開発を行います。研究所も中国の研究所とこれまでに密接な協力関係にあつて、共同研究を進めています。今後は、国際競争の側面

も強くなってくると考えられます。各国違った経済構造がある中で、これから熾烈な競争になってきますので、研究所の立場としては、学術研究機関であるため、研究成果に関しては全人類のためにあるという形で、論文として一般に公開することになります。一方で研究の中で成熟した技術が色々とありますので、研究所でも技術シーズとしてとりまとめており、様々な産業と連携して、社会に積極的に実装していきたいと考えています。

- Q 今後の計画について、こういった実験をするのか等の詳細な計画書は公開されるのか。
A 最終的に決定した実験内容については、ホームページ等で公開いたします。

【将来の核融合発電について】

- Q 核融合反応について、反応そのものが起きている状況なのですか。
A 核融合反応そのものは、中学生や高校生でも核融合炉を作ったというニュースが報じられるように、比較的簡単に起こすことができます。それは、先ほどご覧いただいたプラズマボールのような装置になります。しかし、発電に利用するためには、高温のプラズマの中で頻繁に反応を起こさないとエネルギー源にはなりません。エネルギー源にするには、100万kWとか大きな電力を発生するわけですが、それなりの大きさの装置が必要になります。また超伝導磁石を使わないとプラズマをうまく閉じ込められず高温にすることができないため、核融合反応を発電に利用するには、それなりの大きさの装置が必要となります。
- Q 核融合発電の実現は、いつまでたっても30年後と言われていますが、いつ実現するのか、本当に実現できるものなのか教えてほしい。
A 確かに50年前も30年後と言われていたのは事実です。しかし、現在では、大型な装置を作って、その性能を実証する段階に入っています。よって、小型の装置で実験をしていた50年前に30年後と言っていたときは、状況が違ってきています。また、国がロードマップを作成したことが、大きな違いであり、そこには2050年頃に実用化の目途をつけると記されています。私共の研究・開発はこのロードマップに準じて進めることとなりますが、ある程度目途の立った30年後と言えるかと思います。また、最近外国では、民間も参入し、大手企業も投資をはじめている点も、実現を近付けていると考えています。
- Q ITERの建設について、年数もかかるが、予算も莫大にかかるかと思われま。今後このステップを踏んで、核融合発電が実現できても、電気代が相当高くなるのではと懸念しますが。
A ITERに関しては、確かに当初計画の予算から考えると、現在では倍くらいに膨らんでいます。この装置は、人類最初の核融合で燃焼させる装置で、安全を重視した設計であり、昨今の物価高の影響も受けています。しかし、この装置以降に新たな装置を作り上げるときには、それまでの様々な実績があり、そういった情報を基に、無駄な部分を省

き製作することができます。更に発展すれば、大量生産にもつながっていくため、最終的に発電所ができる頃には、採算性のある金額になると考えています。

Q 研究所の名称に核の文字がつくため、原子力発電所のイメージがありますので、こういった説明会時に、はっきりと原子力発電所とは全く違うものであるとの説明をしてはどうかとの提案をします。また、配付いただいたパンフレットに将来の発電所のイメージ図があります。研究所では重水素実験までで、将来の核融合発電は、トリチウムを使った反応をさせる必要があると思いますが、そのときに出てくる放射性物質と安全性についてどのような考えがあるのでしょうか。

A 核融合発電を実現するには、まだ多くの課題があります。核融合反応はトリチウムと呼ばれる半減期 12 年の放射性物質と重水素を使うことになり、これらを使う本格的な実験は、フランスに建設中の ITER という装置を使って、各国が協力して行うことになっています。各国がそこでの研究で明らかになった成果を持ち帰りますので、そのときにトリチウムの取り扱い方法が明らかになってくると思います。したがって、ITER の実験が成功しなければ、どの国も次のステップに進めないと考えます。将来の核融合発電所では、炉の中に保有するトリチウムの量は 1 kg 程度となり、炉の中で生産され、消費されます。現在の原子力発電に比べると、放射性物質の種類、量が格段に少ないため、最悪の事故を想定してもリスクが少ないことが分かっていただけだと思います。

Q 核融合発電について、ヘリカル型とトカマク型では、どちらが実用化に近いのですか。

A 現在、世界的に最も研究が進んでいるのは、世界的に多くの装置があるトカマク型になります。トカマク型は、ヘリカル型より作りやすい利点があります。ヘリカル型は、らせん状の電磁石を使いますが、これは 3 次元的にスパコンを使って計算した上で設計し、精度よく製作しなければなりません。世界的に見ますと、圧倒的にトカマク型が主流となって研究が進んでおり、フランスに建設中の ITER というトカマク型装置が、今後世界最大の実験装置となります。したがって、核融合炉を最初に実現するのは、トカマク型になると考えています。今まで得られたデータベースや性能でもトカマク型が圧倒的に多くの成果を挙げているため、そのように進んでいくと思います。一方、ヘリカル型は今後どのようになるのかと言うと、私共の研究は学術研究であり、装置の特殊性を研究するのではなく、装置の形式によらない一般的な理解を構築していきます。研究所の LHD は作られて 25 年になりますが、プラズマの中の性質を調べる計測装置としては、世界的に見て圧倒的に高い性能を持っています。LHD は、核融合炉のプラズマの中で何が起きているのかを理解する役割を担っていきます。それは、今後、核融合炉の性能を上げていく、安全性を高めていくために必要となっていきます。

Q 核融合発電の装置としては、まずトカマク型になるということですが、ヘリカル型は、その後採用されるのでしょうか。

A ヘリカル型にもいくつかの異なるタイプがあり、今後は様々なタイプで研究を進め、どういったコイルの巻き方がプラズマを閉じ込めるのに最適かを検証しながら、進化して

いくことになると思います。

Q 2050年に核融合発電の実現ができるとのことですが、本当にできるのですか。

A 「2050年カーボンニュートラル」を考えたときに核融合エネルギーが鍵を握っている技術であることは間違いなく、政府においても期待が高まっています。国としてのロードマップもできており、未解決問題を解決していく工程が決められています。問題をクリアしていきながら2050年頃の実現する計画が進めています。重要な未解決問題には、プラズマの性能をもっとよくすること、材料開発や効率の良い超伝導マグネットの開発等が挙げられています。

Q 今後、核融合発電の実用化は2050年代であるとの説明でしたが、実用化に向けての研究部門は、どこのこういった機関が進めるのですか。先に説明のあった茨城県の新しい装置(JT-60SA)を使って進めていくのか、国の方針等はどのような計画であるのか教えていただきたい。

A 日本の核融合科学研究に関わる大きな装置としては、茨城県にある量子科学技術研究開発機構(QST)のJT-60SAと核融合科学研究所のLHDの二つがあります。JT-60SAはトカマク型で核融合炉開発を目的としています。発電所の初号機は、トカマク型の装置になると予想されるため、JT-60SAの装置設計が発電炉の設計につながっていくものと考えます。研究所のLHDは、ヘリカル型で学術研究を目的としています。世界的にみてもプラズマを観測するのに適しており、プラズマで起こる未知の現象を解明しています。それらの知見を取り入れて、国のロードマップでは、2035年頃の原型炉建設開始を目指す予定で、日本の研究成果がその基盤になると考えています。

【情報公開について】

Q 核融合科学研究所では、福島原発事故のようなことはないと思いますが、情報を包み隠さず、伝えていただきたいと思っている。

A 研究所は学術研究機関であるため、不都合な真実を科学として社会に向けて発信するのが任務だと思っています。その時々の中で、都合がいいのか悪いのかといったものではなくて、真実が何なのか、何が分かっているのか、何が分かっているのか、このことを正確に社会に発信することが一番大事であると考えています。