

LHD 見学ツアーにおけるご質問と回答

令和2年10月21日
オープンキャンパス実行委員会

この度は、オンラインによる LHD 見学ツアーにご参加いただき誠にありがとうございます。今回は、皆さまから多くの質問や感想をチャットでいただきました。ところが時間の都合で、当日、全てのご質問にお答えできませんでした。ここに、当日お答えできなかった質問とその回答を記載いたします。

お詫び：当方の不手際により、第1回見学ツアーのチャットの記録を失念いたしました。ここに記載したのは、第2回および第3回見学ツアーのご質問と回答です。

Q 質問です。核融合の原料には重水素とリチウムが使用されるとのことですが、それは多くの物質を使って実験を繰り返して得られた結論なのですか？それとも、理論的に重水素とリチウムが最適だという結論が得られたのでしょうか？また、今後より最適な原料(エネルギー変換効率がいい、プラズマを維持しやすい、より低温で実現できる等)の組み合わせが見つかる可能性はありますか？

A これまでに多くの元素の原子核を加速器で加速し、それらの衝突により起こった核融合反応で、反応確率や発生エネルギーが精度良く測定されてきました。その中で最も反応確率が高いのが、重水素と三重水素の核融合反応です。三重水素は地球上での存在比が小さいため、リチウムに上記の核融合反応で発生する中性子を当てることで炉内において生成します。従って、現在考え得る最もエネルギー効率の高い核融合発電の原料は、重水素とリチウムです。しかしながら、自然界には未知の現象が隠れている可能性がありますので、もっと最適な原料が見つかる可能性は否定できません。

Q 水素を入れるときの密度はどのくらいですか？だいたいの具体的な数値を教えてくださいましたら幸いです。1E-9 g/cm³ くらいですか？

A 実験の条件にもよりますが、数密度でおおよそ 10¹⁴ 個/cm³ です。密度にすると 10⁻¹⁰ g/cm³ 程度になります。

Q 燃料にはどのようなものがありますか？

A 重水素とリチウムです。どちらも海水から採取できる無尽蔵の資源です。

Q 実験に必要な電力はどのように確保されているのでしょうか。

A 電力会社から購入しています。一部の加熱装置では、送電線を介して送られてきた電気を、はずみ車と呼ばれる装置で一旦蓄えておき、大電力にして短時間で使用することもあります。

- Q ご説明ありがとうございます。核融合炉の保守メンテナンスはどのように、どれくらいの周期でされているのでしょうか。安全管理の基準もありますか。
- A 約1年に1回の実験期間は準備期間も含めて約半年です。残りの約半年をメンテナンスや改造に当てています。メンテナンスでは、機器の健全性を確認するとともに、予防保全を行っています。安全管理の基準は、「重水素実験における基準および各種マニュアル」として全ての実験機器について整備されています。
- Q 真空度の具体的な数値はどの程度ですか？
- A 10^{-5} Pa 程度です。これは国際宇宙ステーションが飛行している高度の真空度です。
- Q うちの娘がプラズマ点火ボタンを押したいと言ってます。ありますか？
- A プラズマ点火ボタンと呼ばれるものはないですが、プラズマ実験はボタンを押してから数分後に開始するようになっています。
- Q 真空（空気や物が無い）と、どうやって確かめているのですか？目に見えないレベルだと掃除が大変そうですね。
- A 電離真空計（気体をイオン化して間接的に気体の有無を測る装置）を使って真空度を測定しています。真空にする前に内部をきれいに掃除し、そして1ヶ月ほどをかけて、真空ポンプを使って排気します。
- Q NBI の電流値と電圧はどの程度ですか？
- A 電流値は 80 A、電圧は 180 kV（1 台当たり）です。
- Q どの部分が一番高いんですか？？？
- A 超伝導コイルを冷やすための液体ヘリウムのタンクが内蔵されたバルブボックスと呼ばれる背の高い円筒形の塔があります。この高さが約 13 メートルです。
- Q イオンサイクロトロン配管が逆 U 字のように設置されていたところがありましたが、最短距離(直線)の設置ではないのはなぜですか？
- A イオンサイクロトロン加熱には、周波数によって最適な配管の長さがあります。周波数の変更等により、長さを変える必要が出たとき、この逆 U 字の部分を交換することで、簡易に長さを変更できます。
- Q 地震が起きても大丈夫ですか？
- A 建物は震度 6 強に耐える設計になっています。また、プラズマ実験は、緊急地震速報を受け取ったとき、または建物に設置された地震計が震度 4 以上の地震を検知したときに自動的に停止します。プラズマ実験は、加熱を止める、ガスを止める、逆に不純物ガスを入れるなどの方法で瞬時に停止することができます。プラズマは消えると気体に戻るだけなので、後は何も起こりません。
- Q 装置がとても大きくてきれいですね。このようにきれいな実験施設を保つために定期的に掃除であったり、部品の交換はするのですか？それとも汚れを極力入れないように工夫しているのでしょうか？

- A 磁場を利用している装置ですので、ほとんどが非磁性のステンレス鋼でできています。ですから錆びることがなく、きれいな状態を保つことができます。その上で、いつもきれいに掃除をし、汚れも持ち込まないように気を付けています。
- Q 電子サイクロトロン装置の4本の棒の役割を教えてください。
- A 電子サイクロトロン共鳴加熱装置に使う電磁波は、この本体室の隣の部屋にある6台の発振管（ジャイロトロン）で生成されます。そして電磁波は、やはり6本の伝送管を用いてLHDまで導かれます。ご覧いただいた4本の棒は、その内の4本の伝送管です。
- Q 高温のプラズマをどのようにして撮影するのですか。
- A LHDは全体が真空容器で覆われていますが、その外壁に石英の窓を設け、窓から見えるプラズマからの光を多数本の光ファイバーで伝送して、最終的にCCDカメラで画像として撮影しています。
- Q 実験に使用する水素の重さは何グラム程度ですか？
- A プラズマになる部分の水素の重さは約0.01グラムです。
- Q 大学や院ではどのようなことを専門に勉強なさっていましたか？
- A 核融合研究は、総合科学ですので、色々なことを勉強した人が集まっています。例えば、物理学、電気・電子工学、原子力工学、機械工学、材料科学などです。
- Q 発電できたとして、どうやって取り出すのでしょうか？
- A 核融合反応で発生する高エネルギーの中性子の運動エネルギーを熱エネルギーに変換し、その熱を冷却材で炉の外に取り出し、発電用の蒸気タービンを回します。熱源が異なるだけで、熱エネルギーを取り出した後は、火力発電や原子力発電と変わりません。一方で、第2世代の核融合炉として、燃料を変えて、核融合反応で発生した陽子の電気を直接取り出す直接発電の研究も進められています。
- Q プラズマの温度や密度はどうやって計測するのですか。
- A いくつかの方法がありますが、代表的なものを紹介します。レーザー光をプラズマに照射し、その散乱光を観測します。温度は粒子の速度と関係しているので、粒子の速度をドップラー効果を利用して測定します。つまり、散乱光の周波数スペクトルの広がりから粒子の速度、つまり温度を測定します。また密度が大きいほど散乱が大きくなるので、散乱光の強度から密度が分かります。
- Q 実験中に投入したエネルギーはどこに行くのでしょうか？最終的に熱になるのだとすれば、どうやって排熱していますか？
- A 入力エネルギーは、真空容器の壁全面に取り付けられた配管内を流れる冷却水で外に取り出され、最終的に大気に排熱されます。