

核融合科学研究所は海水中の資源からエネルギーを生み出す核融合発電の実現を目指しています



自然科学研究機構核融合科学研究所の紹介



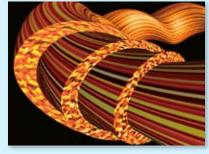
- ●自然科学研究機構 核融合科学研究所では、海水中に無尽蔵に含まれる資源を利用する核融合発電の実現をめざして、世界最先端の研究を進めています。
- ●核融合科学研究所は、大学共同利用機関という国立大学の仲間です。
- ●併設されている国立大学法人 総合研究大学院大学を中心として、 未来を担う学生の教育を行っています。

3つの研究プロジェクト

- ①世界最大級の大型へリカル装置 (LHD) を用いた高温プラズマの研究
- ②スーパーコンピュータを用いた理論・シミュレーション研究
- ③将来のヘリカル方式の核融合炉の設計とその製作に必要な工学研究



大型ヘリカル装置(LHD)



スーパーコンピュータを用いたシミュレーション



将来の核融合炉設計



核融合科学研究所は、 将来の核融合発電の実現を目指して、 プラズマの研究を行っています。

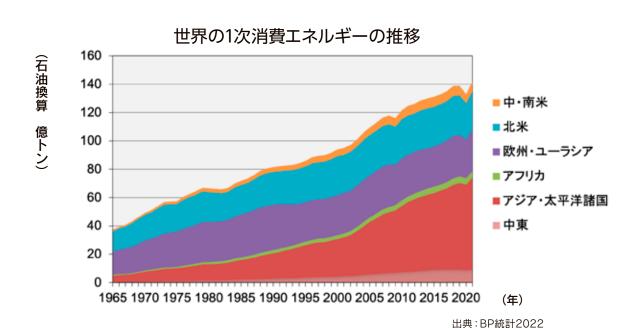
このパンフレットでは、

- ・核融合研究がなぜ必要なのか
- ・大型ヘリカル装置を用いた研究がなぜ重要なのか
- ・実験の方法と安全性
- ・大型ヘリカル装置の最新の研究成果
- ・今後の計画

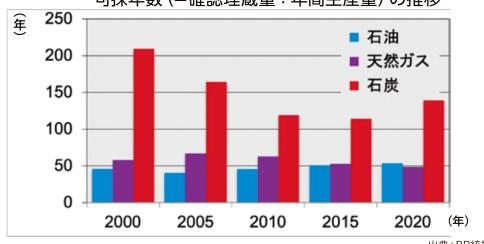
をご説明します。



人類のエネルギー消費量は 増加の一途をたどっています



可採年数 (=確認埋蔵量÷年間生産量) の推移

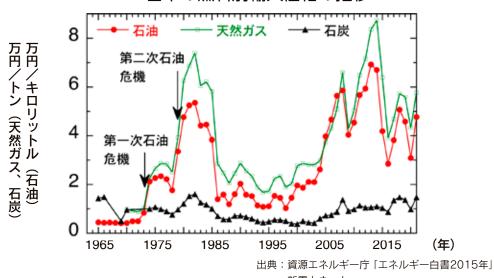


出典:BP統計2021

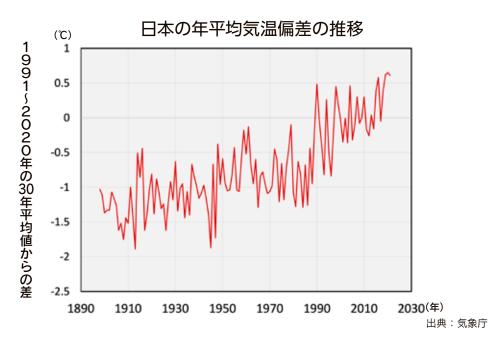
可採年数は、エネルギー資源があとどれくらいあるかを表す指標です。 石油、天然ガスは、採算コストの高い資源が埋蔵量に追加されるため、可採年数が減っていません。

世界の人口の増加や新興国の経済成長に伴って、 エネルギー消費量は急激に増加しています。 このままでは、あと数百年でエネルギー資源が 枯渇する心配があります。

日本の燃料別輸入価格の推移



日本は燃料のほぼすべてを輸入しています。 近年は新興国での需要増加に伴い価格は上昇傾向 にあります。燃料の輸入価格は世界情勢に大きな 影響を受けています。



日本の年平均気温は、長期的には100年で1.28℃の割合で上昇しています。 特に1990年代以降、高温となる年が頻出しています。

地球温暖化も進行しています。

海水面の上昇 砂漠化 異常気象の増加 感染症のリスク拡大 農作物適正地の移動 人類の存続をも脅かす深刻な問題です。

今こそ、核融合エネルギーの実現が必要です

化石燃料に代わる新しいエネルギー

太陽光発電風力発電

)))))

環境に優しいエネルギー源ですが、産業や都市機能 を維持するような大規模な発電は困難です。

燃料電池



クリーンなエネルギーですが、燃料の水素を作るため にエネルギー源が必要です。

核融合エネルギー

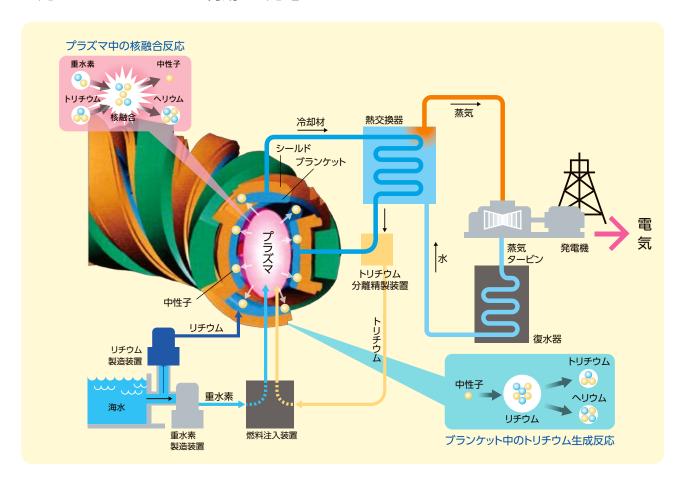
資源の枯渇の心配が無く、環境負荷が小さく、大規模な発電が可能です。



核融合発電を基幹エネルギー源とし、地域性・環境性を配慮した、 バランスのとれたエネルギー源の組み合わせが必要です。

将来の核融合エネルギー発生に必要な資源 は海水中に豊富にあります

将来の核融合エネルギーでは、重水素と三重水素 (トリチウム) を核融合反応させる時 に発生するエネルギーを利用し、発電します。



燃料に必要な重水素とリチウム(三重水素の原料)は、海水中に豊富に含まれています。

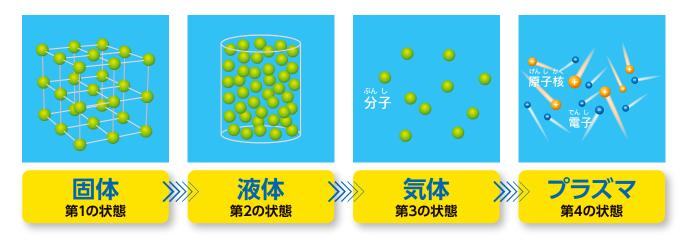


3リットルの水と0.3グラムのリチウムから、日本の一人当たりの 年間電気使用量を発電することができます。

核融合エネルギーを実現するには

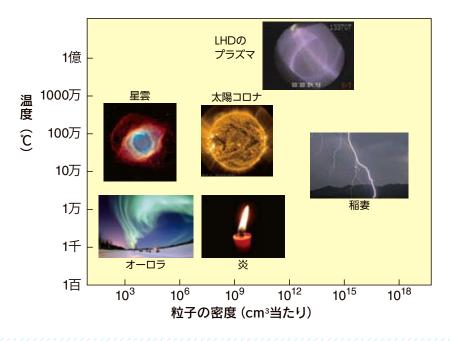
核融合反応を起こして、エネルギーを取り出すには、1cm³あたり 100兆個*以上の密度のプラズマの温度を1億度以上にして、1秒以上閉じ込めなければなりません。

※これは空気に比べて25万分の1の、真空と言ってもよい希薄な状態です。



熱(エネルギー)

プラズマとは、原子を構成する原子核 (イオン) と電子がばらばらになって自由に飛び回っている状態のことをいいます。

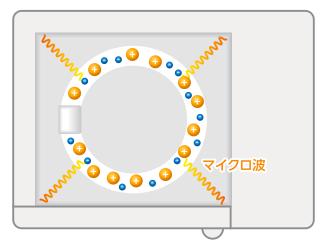


身近なプラズマ、自然のプラ ズマの温度と密度の関係

蛍光灯は1万度のプラズマです

蛍光灯のプラズマの温度は1万度に達します。しかし、ガラスに触れても大丈夫です。これは、プラズマの密度(数)が大気の1,000分の4程度と非常に小さいからです。 私たちが、100度近いサウナ風呂に入っても大丈夫な理由も、周りの気体(空気+水蒸気)がお湯に比べて密度が小さいからです。

大型ヘリカル装置 (LHD) を使ったプラズマ生成実験は、 蛍光灯を使って模擬できます。



電子レンジに蛍光灯を入れて加熱をスタートすると、蛍光灯が点灯します。

でも蛍光灯の周りの空気は光りません。



電子レンジの加熱をストップすると、蛍 光灯はすぐに消灯します。

この実験は次のことを教えてくれます。

☆気圧が高いとプラズマは点きません。

☆加熱を止める(電気を切る)とプラズマは消えます。

注意:この実験は、ご家庭では行わないでください。

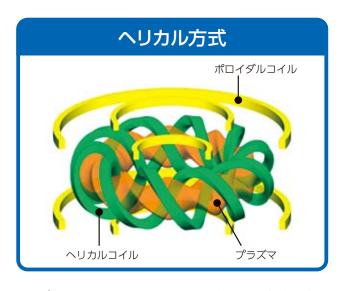
核融合エネルギーの実現を目指す 高温プラズマ研究

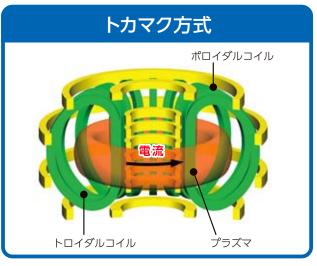


核融合科学研究所は、大型ヘリカル装置 (LHD) を用いて、高温・高密度プラズマを生成し、プラズマの性質を調べる学術的な研究を行っています。

燃料を用いた核融合実験は行いません。

磁力線のかごを作る主な方式





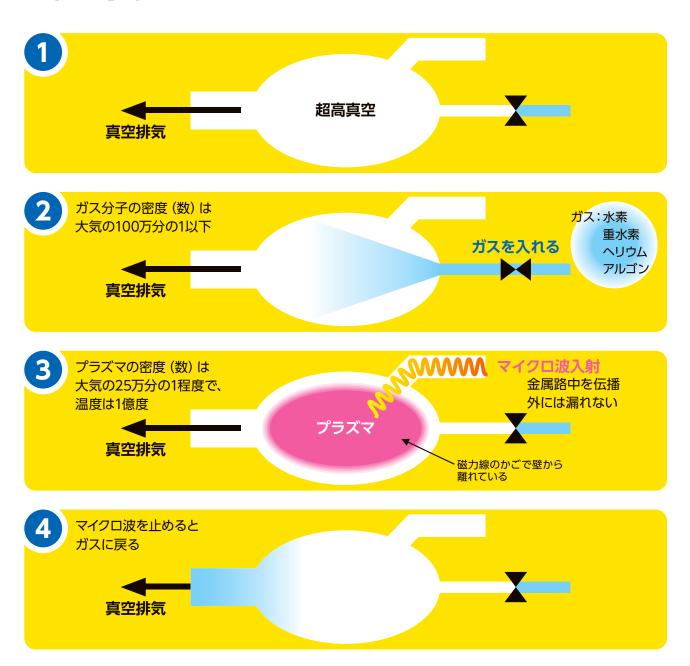
我が国では三つの方式、**磁力線(磁石)でプラズマを閉じ込める**ヘリカル方式とトカマク方式、レーザーを用いるレーザー方式についての研究が重点的に進められています。

LHDは、我が国独自のアイデアによるヘリカル方式で、長時間、安定した運転ができます。

LHDでは、ヘリカル方式の特長を生かして、高温・高密度のプラズマを長時間安定に 閉じ込める研究をしています。

大型ヘリカル装置のプラズマは 電子レンジの中の蛍光灯と同じ

実験の手順

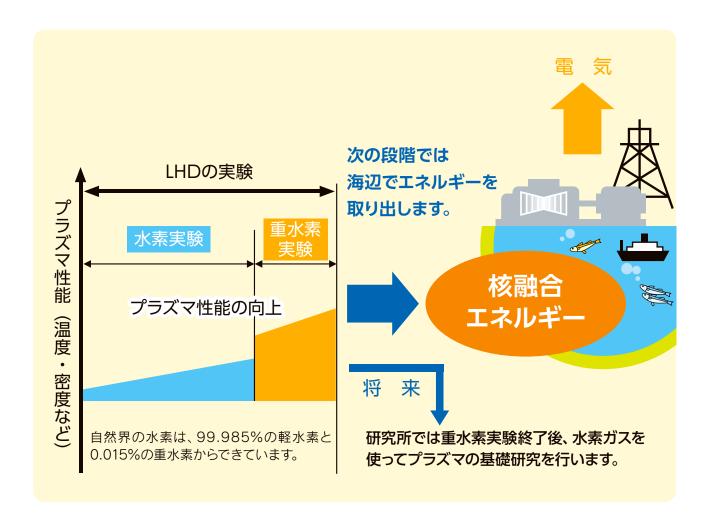


安全に瞬時に実験を停止することができます。

気圧が高いとプラズマは点きません。 加熱を止める(電気を切る)とプラズマは消えます。 ガスを入れるのを止めるとプラズマは消えます。 ガスを入れすぎてもプラズマは消えます。

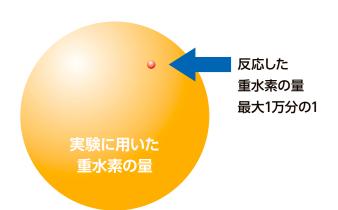
重水素を使うと、プラズマ性能が向上します

普通の水素ガスより重い重水素ガスを使うと、プラズマの性能が向上します。LHDでは、2017年から重水素ガスを用いた実験(重水素実験)を開始し、より核融合条件に近い高温・高密度のプラズマの研究を進めています。



LHDでは、発電実証を行いません。将来の核融合発電所は、 LHDでのプラズマの研究成果をもとに、海辺に建設されます。

重水素実験を実施するにあたって



実験に用いた重水素ガスの大部分はそのままで変わりませんが、ごく一部が核融合反応を起こして、微量の放射性物質である三重水素 (トリチウム) ができ、放射線である中性子が発生します。

重水素実験を実施するにあたって

以下を遵守します。

- 1. 関連法令*1
- 2. 協定書*2および覚書*3
- 3. 安全管理計画*4 また安全監視委員会*5が行う監視・測定等に最大限協力します。
- ※1 放射性同位元素等の規制に関する法律など
- ※2 核融合科学研究所周辺環境の保全等に関する協定書 平成25年3月
- ※3 核融合科学研究所周辺環境の保全等に関する覚書 平成25年3月
- ※4 大型ヘリカル装置における重水素実験の安全管理計画<改訂版> 平成24年2月
- ※5 岐阜県、土岐市、多治見市及び瑞浪市が共同設置した第三者による委員会

災害等緊急時に備えて

- 1. 災害・異常時のマニュアルを整備しています。
- 2. 通年24時間体制で、トリチウム含有水の保管状況を監視しています。
- 3. 研究所全員で防災訓練を実施しています。
- 4. LHD実験期間中に火災を想定した消火訓練 を実施しています。
- 5. 内閣府 (防災担当) 及び気象庁が行う緊急 地震速報の訓練に参加しています。



LHDプラズマ実験期間中の消火訓練 初期消火活動を行う自衛消防隊

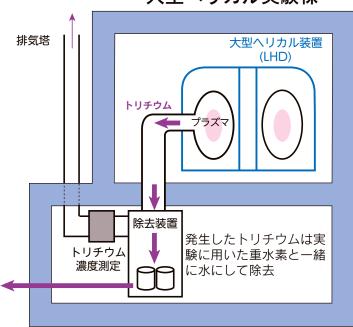
6. 災害等発生時は、危機管理指揮本部を設置して対処します。

発生するトリチウムは、除去・回収します 発生する放射線はコンクリート壁で遮へいします

実験中のガスの流れ

大型ヘリカル実験棟

発生したトリチウムは、トリチウム除去装置に導き、水の形で除去・回収した後、日本アイソトープ協会*へ引き渡します。放出ガス中の濃度は、法令基準の25分の1以下になります。



発生した中性子は、2メートル厚の コンクリート壁で1000万分の1に遮 へいします。

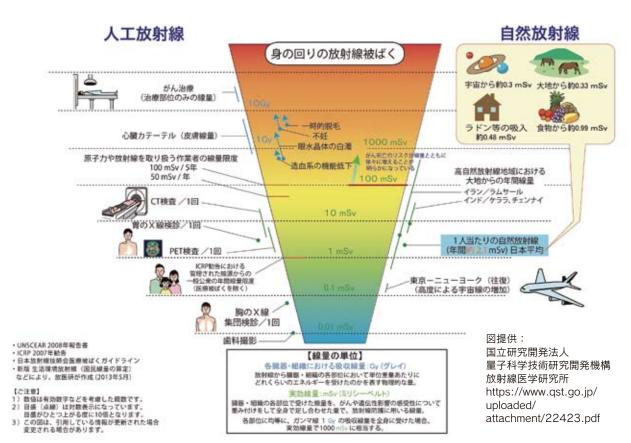
コンクリート壁やLHDは中性子によって放射化しますが、壁は約10年で自然のレベル、LHDは約40年で再利用が可能となります。それまで法令に基づいて適切に管理します。

発生する放射線やトリチウムから受ける影響は、研究所の敷地境界に居続けたとしても

自然放射線の1000分の1以下 体内のトリチウムの15分の1以下

※公益社団法人日本アイソトープ協会は、医療機関、研究機関で利用される放射性同位元素 (アイソトープ) の販売から集荷・処理までを一貫して管理している国内唯一の社団法人で、「放射線同位元素等の規制に関する法律」に基づいた許可を得て、これらの業務を実施しています。

私たちの周囲のいろいろな放射線



私たちの体内に存在する 放射性物質

私たちの体内にも、天然の食品にも含まれるカリウム40などの放射性物質が存在します。その中にはトリチウムも含まれます。 重水素実験の放射線影響は、研究所の敷地境界にずっと居続けたとしても、自然放射線の1000分の1以下です。また、もともと体内にあるトリチウムの放射線影響の15分の1以下です。

さらに遠くなると、その影響はもっと小さくなります。

ヒトの体内の主な放射性物質 (体重60kgの日本人の場合)

カリウム40 ······4,000ベクレル 炭素14··········2,500ベクレル ルビジウム87······500ベクレル 鉛210・ポロニウム210······20ベクレル トリチウム ·········50ベクレル

参考: 環境科学技術研究所 ミニ百科 2007年9号

シーベルト

放射線を人体に受けたとき、その放射線から人体がどれだけ影響を受けるかの目安を表す放射線量の単位(Sv)です。シーベルト(Sv)は人体への影響的にかなり大きな値のため、通常はその1/1000の値であるミリシーベルト(mSv)が多く用いられています。

ベクレル

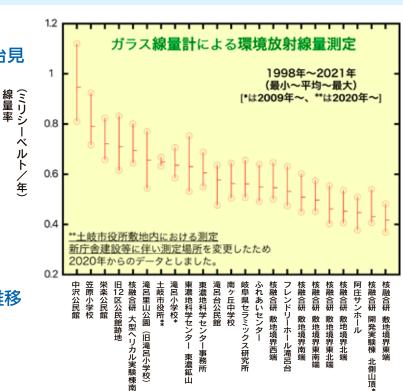
これは放射能を表す単位で、その物質が1秒間にどれだけ 崩壊するか、つまりどのくらいの放射線を発生するかを 「数」で表したものです。

たとえば、トリチウムの 「50ベクレル」 とは、からだ全体で 1秒間に50個のトリチウムが50個の電子 (β線) を出して 50個のヘリウム3に変わっていることを意味しています。

周辺の環境を常にモニターしています

ガラス線量計による土岐/多治見 市内の環境放射線量測定

土岐・多治見市内の環境放射線量は 年間0.4~1.2ミリシーベルトです。



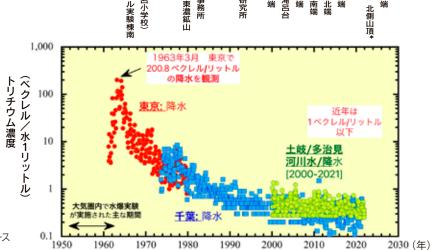
河川/降水中トリチウム濃度の推移 (土岐/多治見・東京・千葉)

宇宙線により大気の上層部でトリチ ウムが生成されるため、自然界には 微量のトリチウムが存在しています。 1960年代までの水爆実験により増 加した大気中のトリチウムは、私た ちの環境の中で、次第に減少してき ているのがわかります。

出典: 量子科学技術研究開発機構 環境中のトリチウム測定調査データベース

原子力規制庁

日本の環境放射能と放射線 環境放射線データベース



・東濃鉱山

環境水中におけるトリチウム濃度及び環境中性子の測定結果は、安全監視委員会においても比較検 証されています。また、地元の小、中、高等学校の先生と一緒に、土岐市、多治見市の各地点における 環境放射線を20年以上にわたって測定しています。



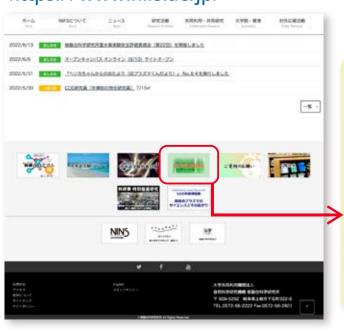
安全監視委員会と研究所が合同で行う 環境水採水の様子



土岐市プラズマ研究委員会が行う 環境放射線測定の様子

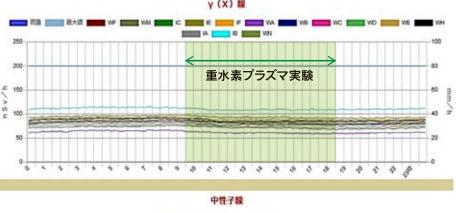
研究所の情報はいつでも見ることができます

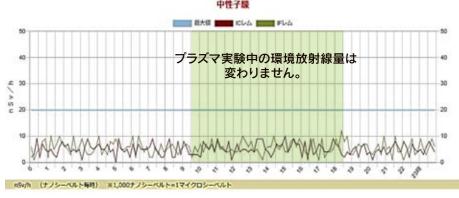
ホームページをご覧下さい https://www.nifs.ac.jp/





2021年11月17日の値の推移 (最大値は自然放射線変動範囲の目安です)(雨が降ると線量が上昇することがあります)







研究所敷地境界部に9ヶ所、実 験棟近傍に5ヶ所の放射線モニ タリングポストを設置しています。

各ポストでの環境放射線データは、リアルタイムで研究所ホームページ上で公開しています。

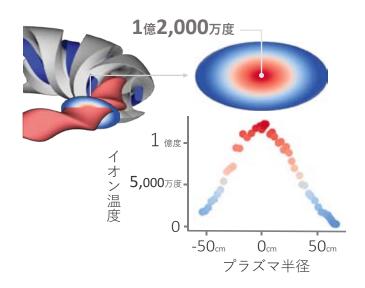
これまで、プラズマ実験を実施 した時間帯で線量の増加はあり ません。

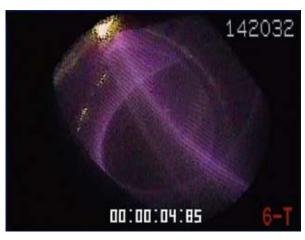
表示は速報値です。確定値については、「LHD重水素実験放射線管理年報」をご覧ください。

LHDのプラズマ性能の進展

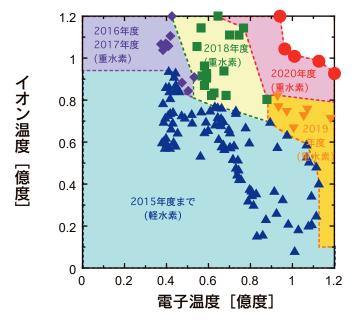
大型ヘリカル装置 (LHD) では、密度制御の改良や加熱機器の増強・最適化などによって、毎年、プラズマ性能を向上させてきました。

そして、2017年3月から開始した重水素実験によって、イオン温度も1億2,000万度に 到達しました。





イオン温度1億2,000万度のプラズマ



これまでに達成したプラズマのイオン 温度と電子温度

2020年度の重水素実験で、電子温度・イオン温度共に1億度に達するプラズマの生成に成功しました。今回の成功によって、1億度に達するプラズマの生成法を確立することができました。これにより、LHDの研究は新たな段階に入りました。

今後は、重水素実験で得られた知見をもとに、将来の 核融合プラズマを模擬した物理実験やAIを活用した プラズマ制御実験を行う予定です。

また、天体などの自然現象の理解に役立つ学術研究や LHDで培われた科学技術を産業に応用することを目指 した研究も行います。

重水素実験は、2022年度まで実施します

核融合エネルギーの実現へ向けて、LHDでは、プラズマの性能を高め、性能の高いプラズマを学術的に調べるために、2017年3月から重水素実験を開始しました。2022年度までの重水素実験における研究所管理値は、次のとおりこれまでと変更ありません。

実験年度	2017年度~2022年度
年間トリチウム	370億ベクレル(1キュリー)
最大発生量	(各年度積算量)
年間トリチウム	37億ベクレル(0.1キュリー)
最大放出量	(各年度) **
年間中性子	2.1 x 10 ¹⁹ 個
最大発生量	(各年度積算量)

※ 市販のダイバーズウォッチ等の特殊な腕時計には、トリチウムガスを針や文字盤に使用する蛍光型のものがあります。この蛍光型腕時計1個に使用されるトリチウムは9億2500万ベクレルで、37億ベクレルはこの 蛍光型腕時計4個分に相当します。

重水素実験の実施により、核融合発電に必要な1億度を超える高温プラズマの生成技術を確立しました。今後は、重水素実験で得られた知見をもとに、高温プラズマの制御に必要な乱流やプラズマ中に発生する波の発生メカニズムを明らかにする等の核融合発電を実現する上で重要な鍵となる研究を中心に進めていきます。

このパンフレットでは、核融合研究の必要性と大型へリカル装置 (LHD)による実験の概要とその安全性について説明いたしました。

研究所のホームページでは、皆様から寄せられたご質問に対する 回答や、研究所敷地内での放射線監視データも公開しています。

私たちの実験の安全性などについて、ご意見、ご質問などございましたらお知らせください。また、お気軽に研究所をお訪ねください。皆様からの声をお待ちしています。

研究所ホームページ: https://www.nifs.ac.jp ご意見、ご質問などはこちら: nifs@nifs.ac.jp





NATIONAL INSTITUTE for FUSION SCIENCE



岐阜県土岐市下石町322-6 TEL 0572-58-2222(代表) 見学も随時受け付けています

URL: https://www.nifs.ac.jp/ NIFS



