

令和2年度市民説明会 ご説明資料

核融合研究の進展と 大型ヘリカル装置（LHD）の研究成果

大学共同利用機関法人 自然科学研究機構
核融合科学研究所

竹入 康彦



今、エネルギーは化石燃料に頼っています



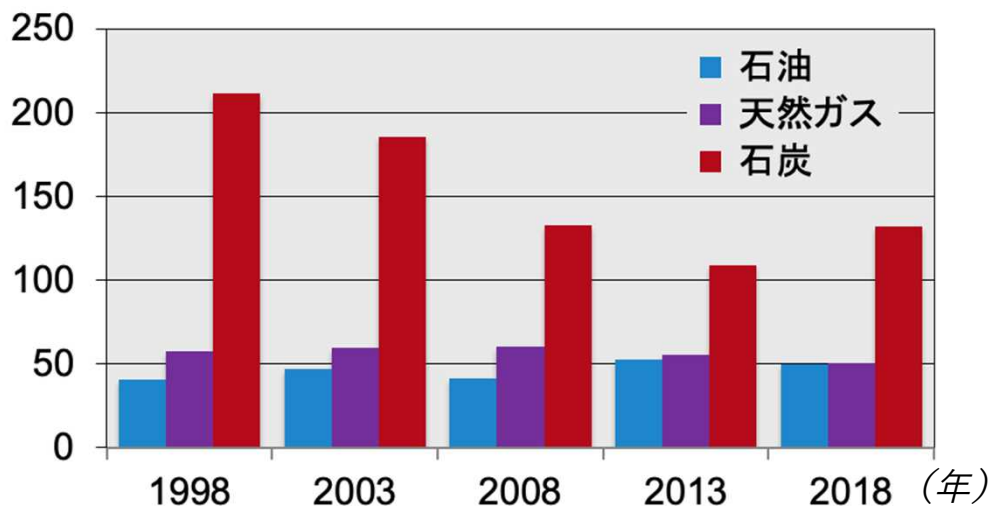
Image by Kristina Kasputienė from Pixabay

▶ 日本の消費エネルギーのうち、電力の占める割合は25%

残り75%は化石燃料に頼っています。

▶ シェールガスなどの新しい資源が見つかっていますが、化石燃料は、いつかは尽きてしまう「限りある資源」であることには変わりはありません。

(年) 可採年数 (後何年、資源が使えるかの目安)

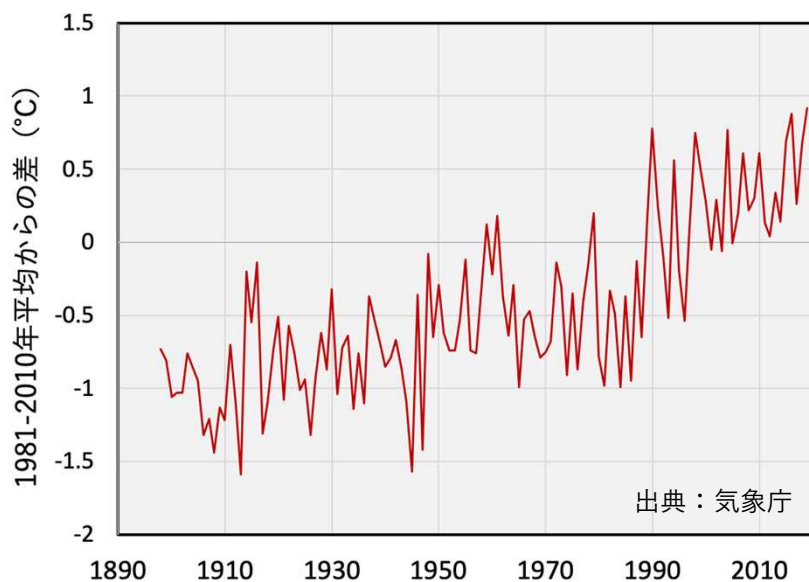


化石燃料が存在する今の間に、環境負荷が少なく、基幹となり得る新エネルギー源を緊急に確立する必要があります。

地球温暖化も私たちの生活に影響を与えています



日本の年平均気温偏差の推移



▶ 日本の平均気温は100年あたり1.2°C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。



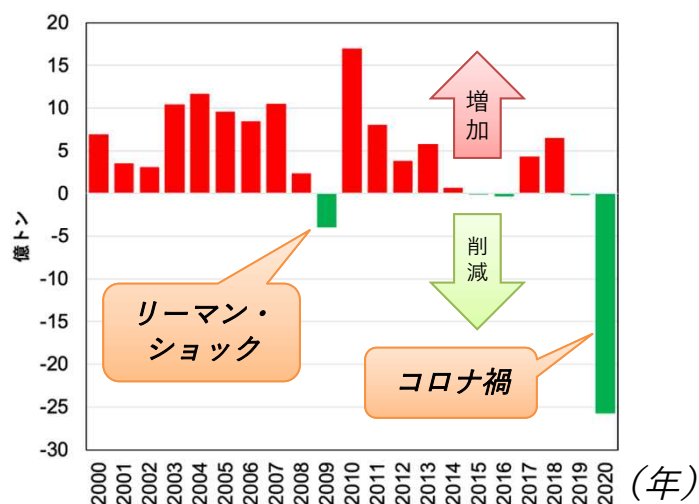
▶ 世界中で豪雨や干ばつなどの気象災害が起きています。これらも地球温暖化と関連しているようです。

地球温暖化の原因は、人間活動による二酸化炭素などの排出と考えられます

経済成長と二酸化炭素削減は両立できるでしょうか？



世界の二酸化炭素排出量の増減
(前年比、2020年は予測値)



- ▶ コロナ禍の影響で2020年の世界経済の成長率は4.9%減となる見通しです。
- ▶ また、経済が停滞したため二酸化炭素排出量が前年比で8%減少するという予測ができました。

出典：国際エネルギー機関IEA、国際通貨基金IMF

パリ協定

2015年、温室効果ガス削減に関する国際的取り決め

産業革命からの気温上昇を1.5°Cに抑える努力をする



©UN Climate Change

2030年まで毎年継続して排出量を7.6%ずつ削減する必要がある。(国連環境計画UNEPの試算)

- ▶ 経済成長と二酸化炭素排出量削減を両立させるためには、画期的な技術革新により脱炭素社会を実現しなければなりません。

経済活動を維持しながら温暖化を抑制するためには核融合発電の実現が急務です

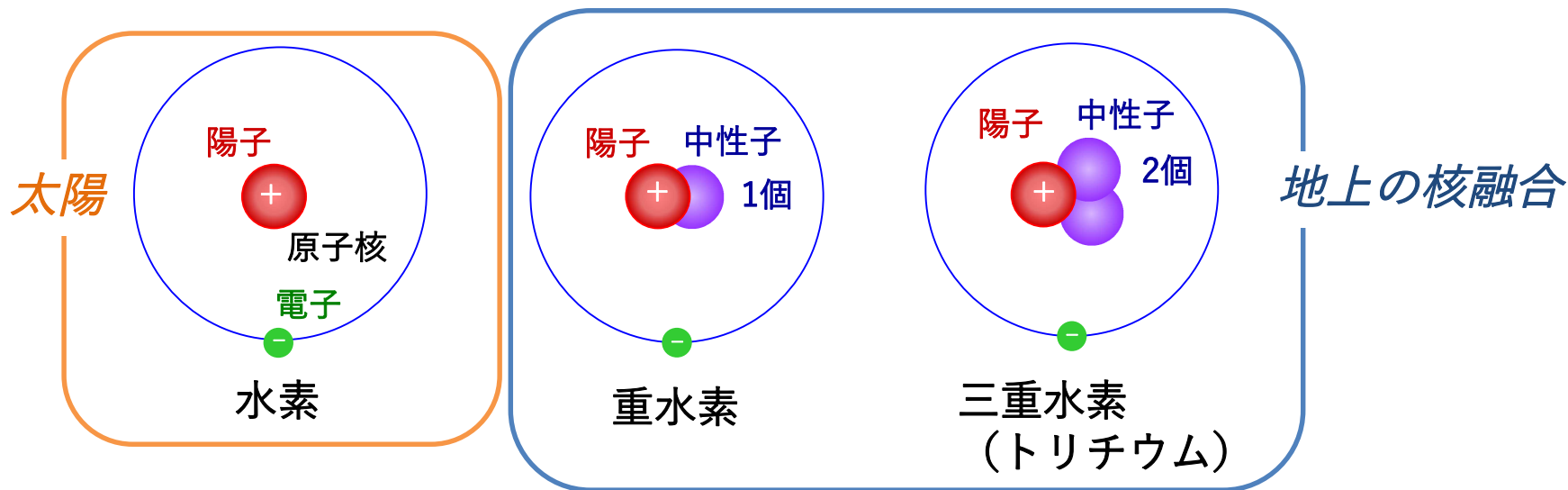
核融合エネルギーとは



空に輝く太陽や星のエネルギー源は核融合

核融合エネルギーは将来最も期待される究極のエネルギー源

▶ 核融合では軽い原子、水素の仲間を使います。ウランは使いません。



- 燃料資源が無尽蔵
 - ◆ 海水から原料がとれます
- 二酸化炭素を排出しません
 - ◆ 地球温暖化を防止します
- 安全性が高い
 - ◆ 暴走や爆発はしません



持続可能で環境負荷の少ないエネルギー源です

核融合エネルギーの燃料資源は無尽蔵



水 3リットル
重水素 0.1 g



スマートフォンの電池1/2個分
リチウム 0.3 g

日本の一人当たりの年間電気使用量
(7,500 kWh) を発電できる

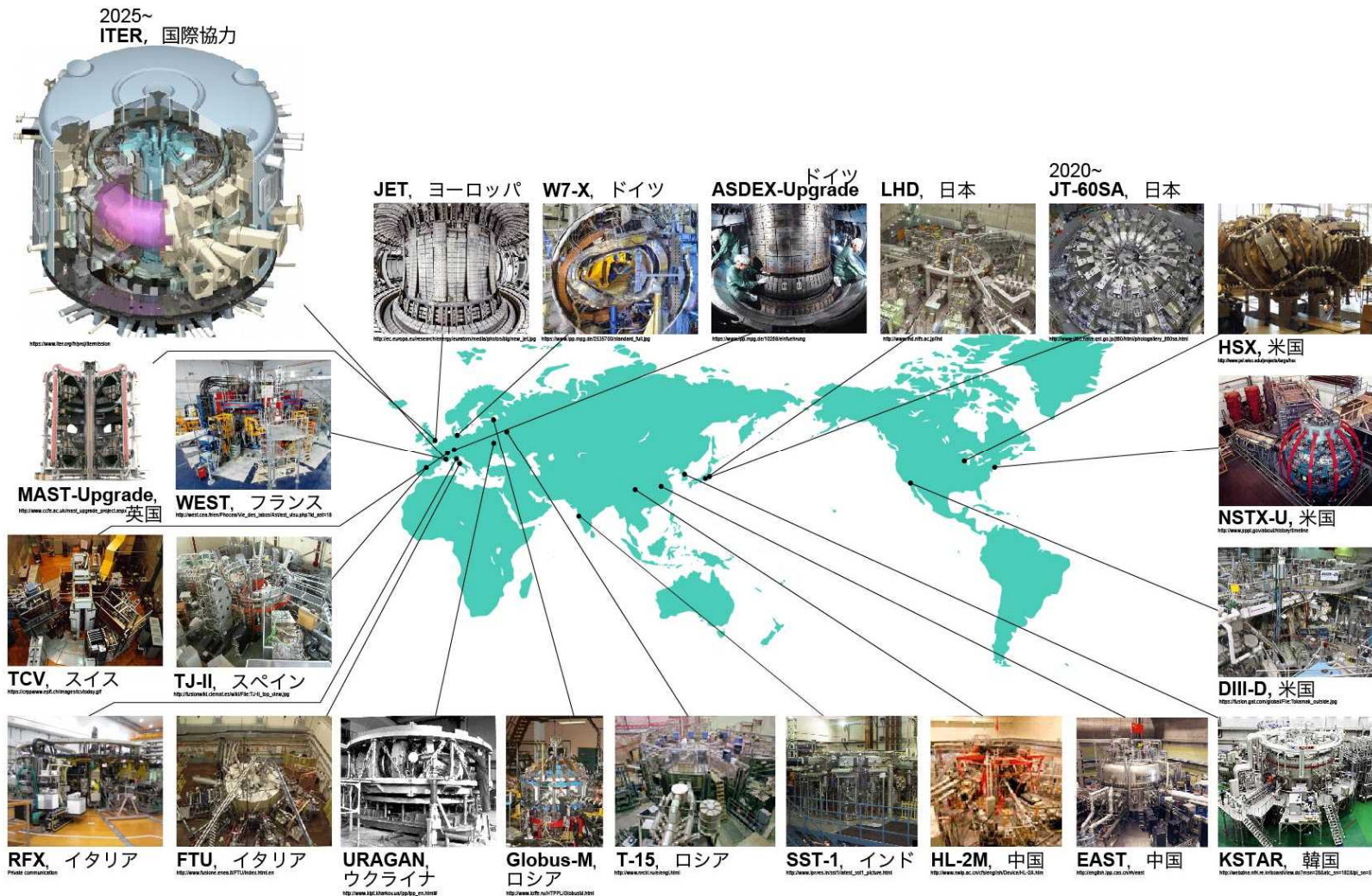
重水素は水の中に含まれている
水素 99.985% 重水素 0.015%
地球上に50兆トン

海水中に2,000億トンのリチウム
⇒事実上、無尽蔵

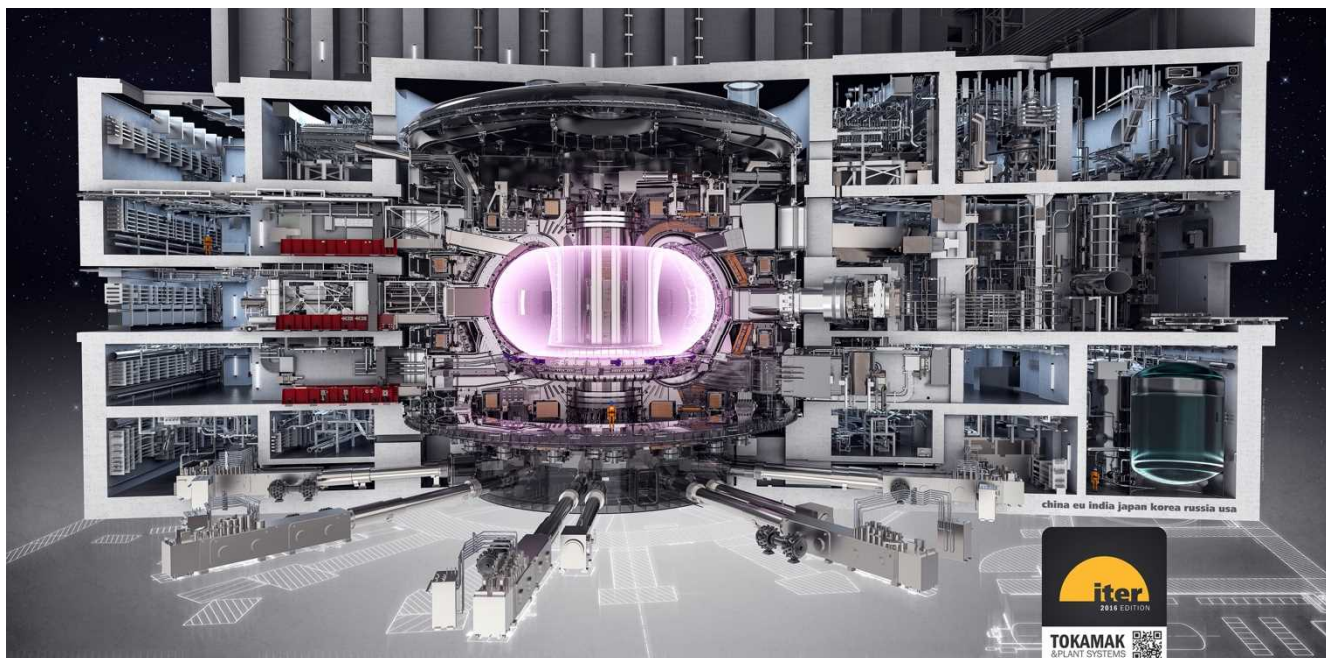
核融合エネルギーの実現は今世紀中葉



核融合は将来のエネルギー源として様々な国において研究開発が進められています



国際協力でITER（イーター）を建設中



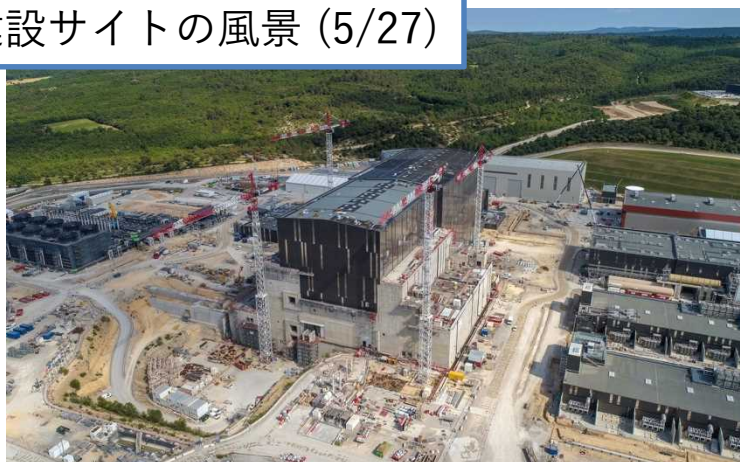
35ヶ国が共同で建設

2025年
運転開始

2035年
実燃料での運転開始
(エネルギー発生)

トカマク型

建設サイトの風景 (5/27)



組立開始記念式典(7/28)
マクロン仏大統領の挨拶

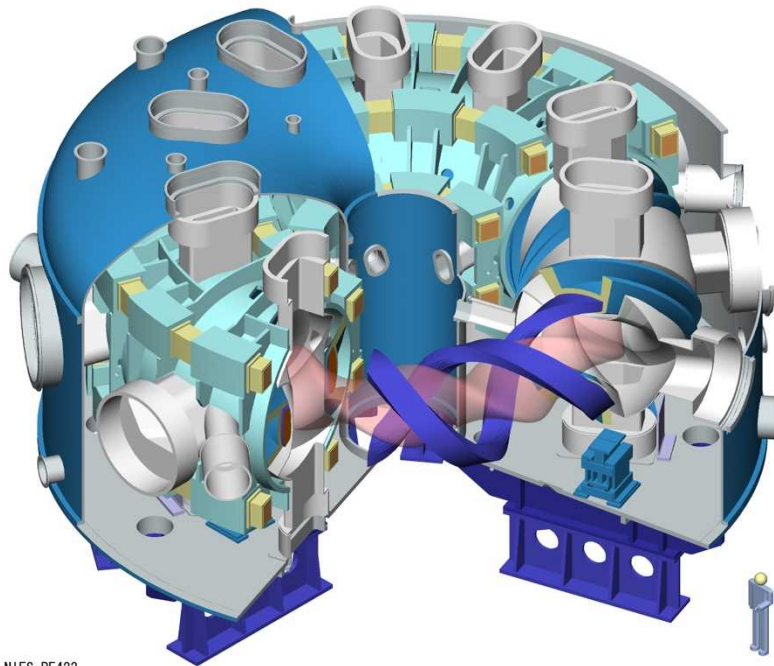


ヘリカル型の実験も着実に進んでいます



ヘリカル型は制御性に優れ、定常運転が可能
課題であったプラズマの高性能化はLHDの重水素実験で解決の見通しが

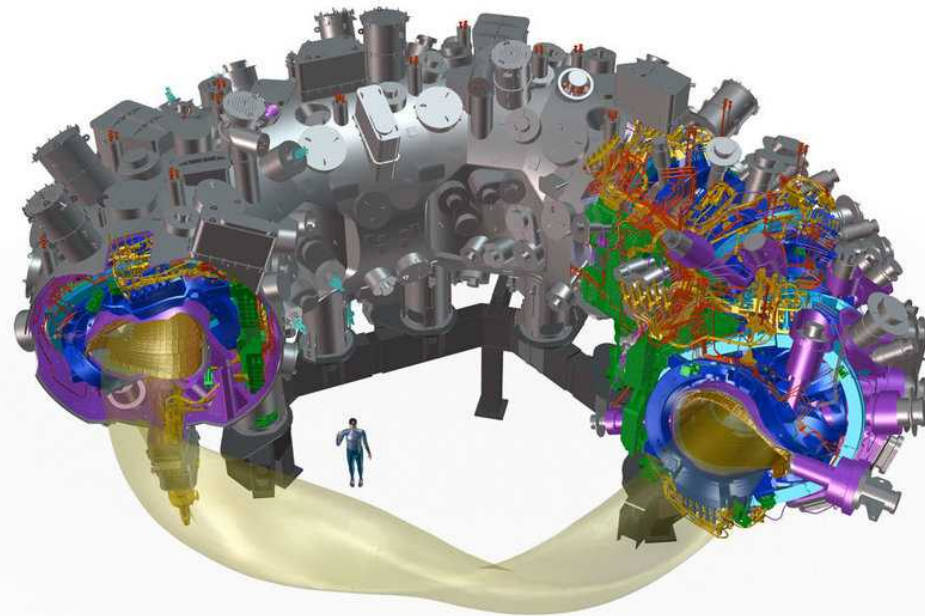
大型ヘリカル装置 (LHD)



NIFS-PE423

日本
核融合科学研究所
ファーストプラズマ 1998年3月
コイルの数 8

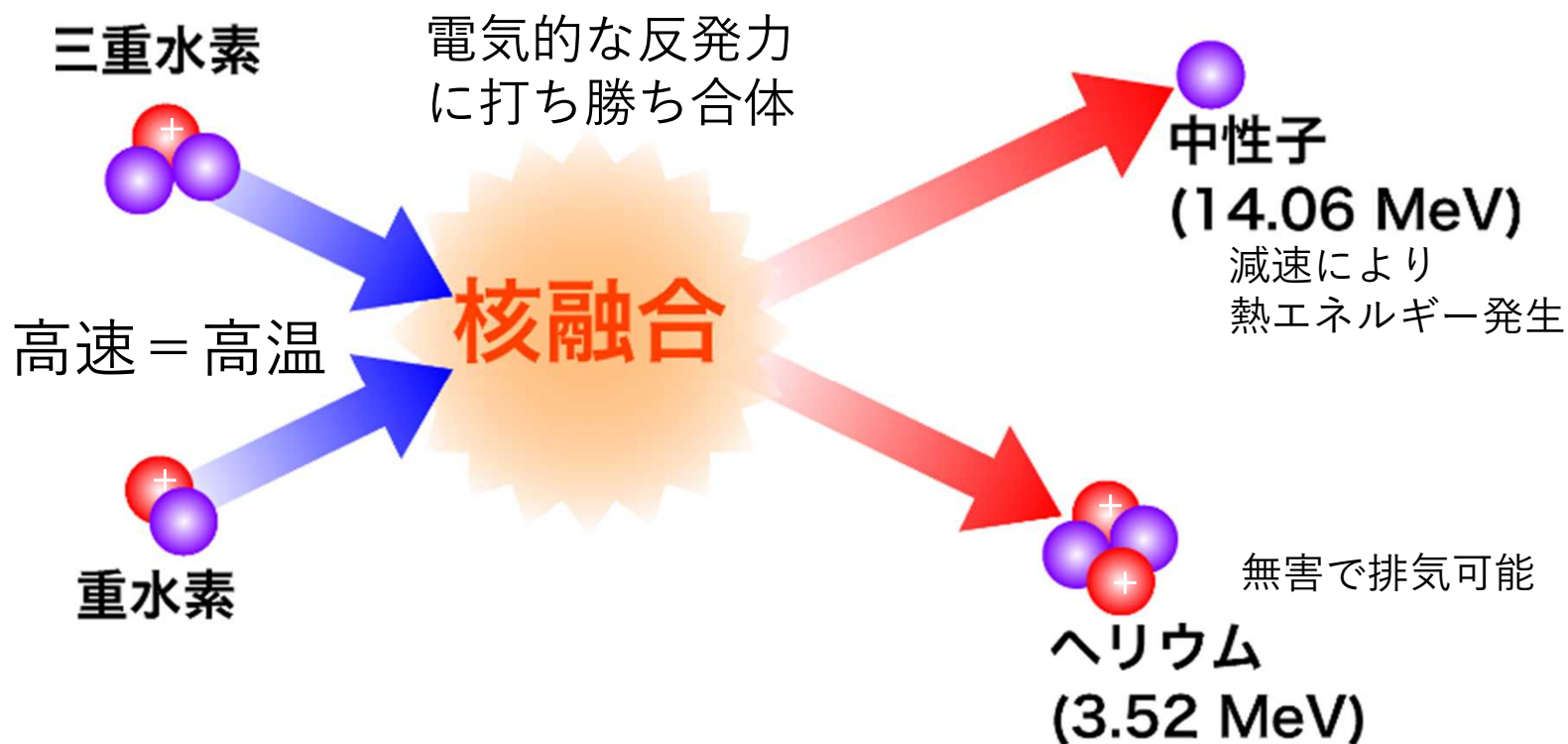
ヴェンデルシュタイン7-X (W7-X)



© Max-Planck-Gesellschaft

ドイツ
マックスプランク・プラズマ物理研究所
ファーストプラズマ 2015年12月
コイルの数 70

地上の核融合を起こすには



核融合に必要な条件

- 温度 **1億 2,000万度**
- 水素粒子の密度 1cm^3 当たり 100兆個以上 (空気の25万分の1の密度)
- 閉じ込め時間 1秒 (エネルギーの逃げにくさを表す指標)

プラズマ状態

核融合に必要な超高温状態はプラズマ



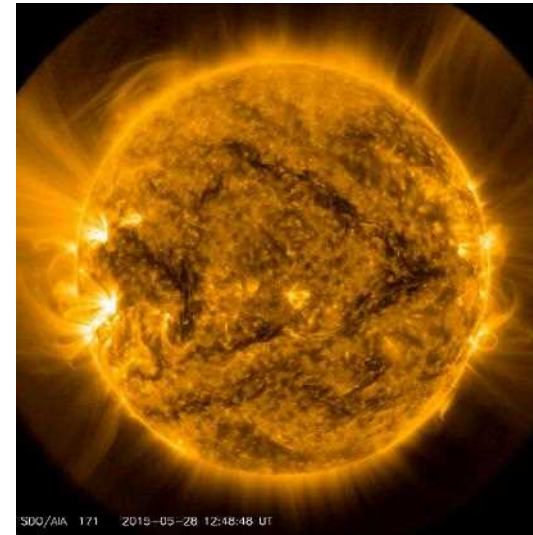
身近にあるさまざまなプラズマ



オーロラ



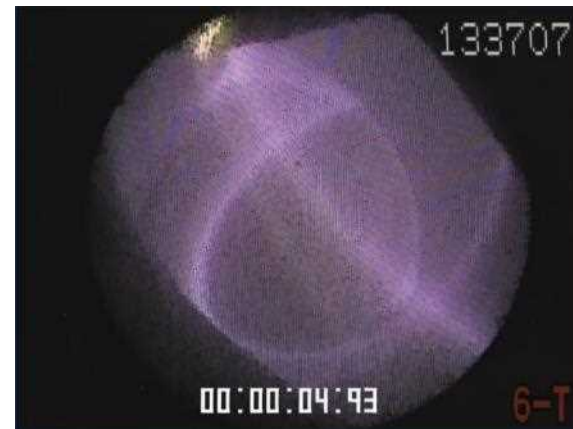
太陽コロナ



炎



研究所LHDのプラズマ



ドーナツ状の磁力線「かご」でプラズマを閉じ込め



そもそも...

プラズマが壁に当たると消える！

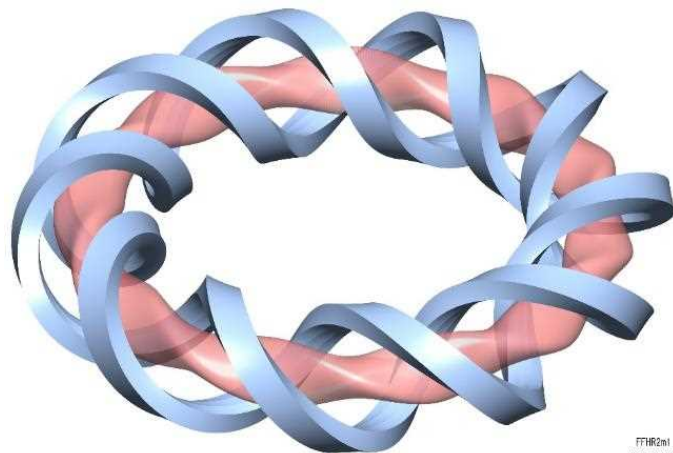


磁力線に巻き付く性質を利用する

詳しくは
動画で。

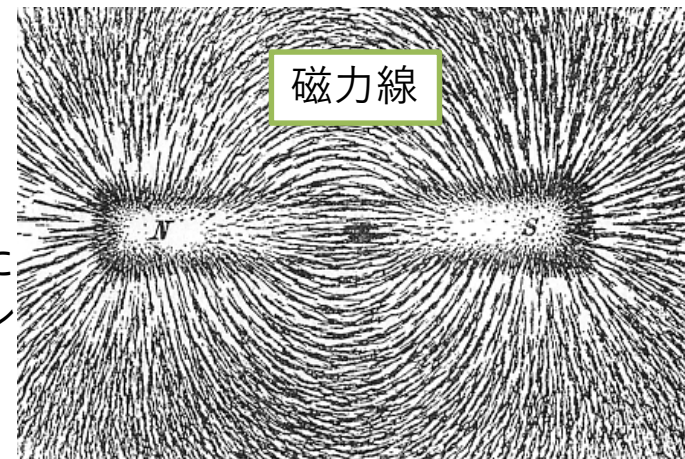


ねじれたドーナツ型の磁力線かご



ねじれた
ヘリカル

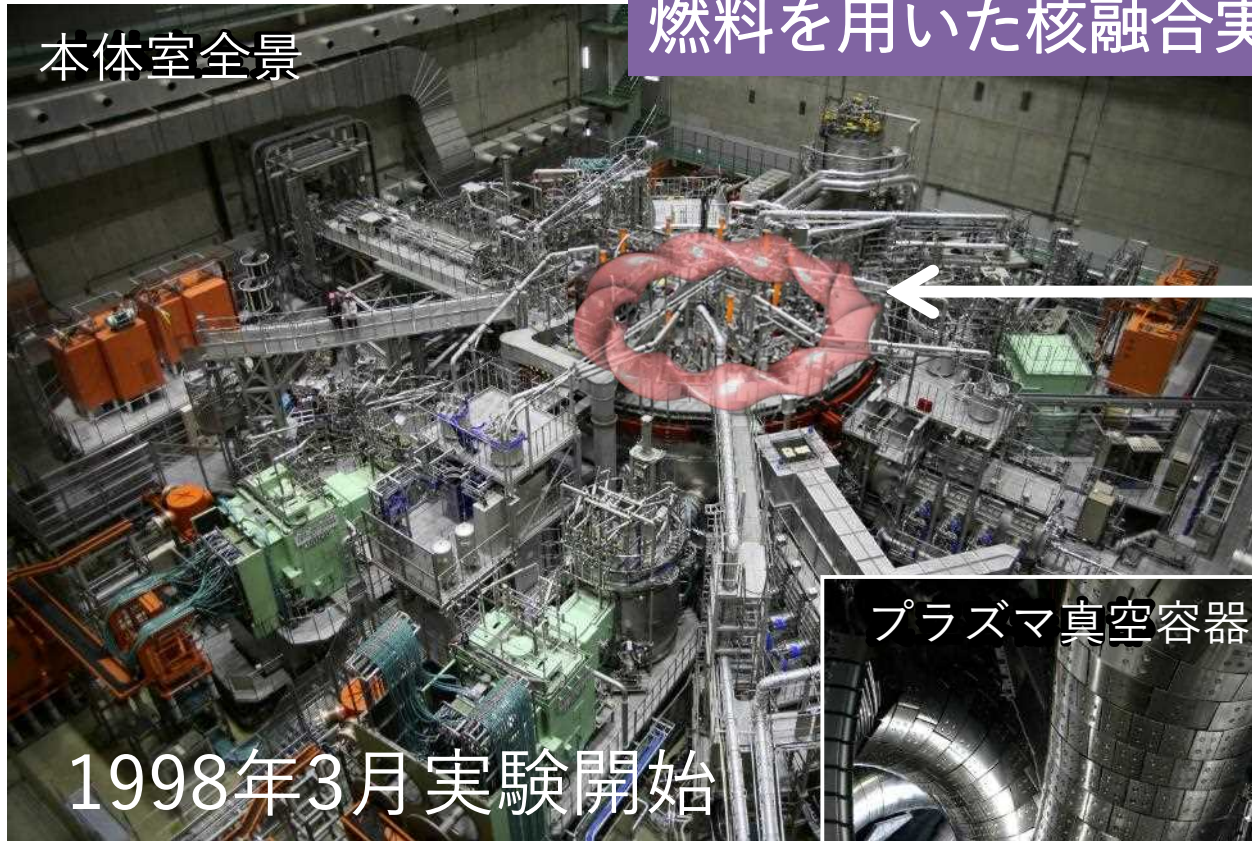
FFHR201
NIFS-PE1602



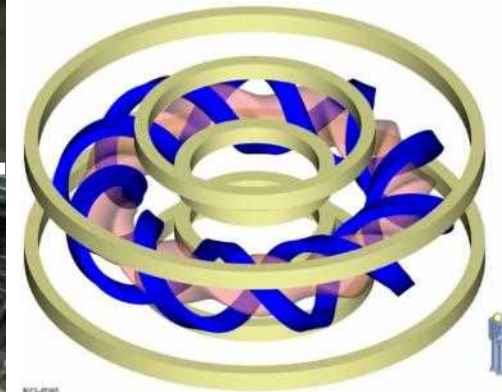
大型ヘリカル装置 LHD



本体室全景



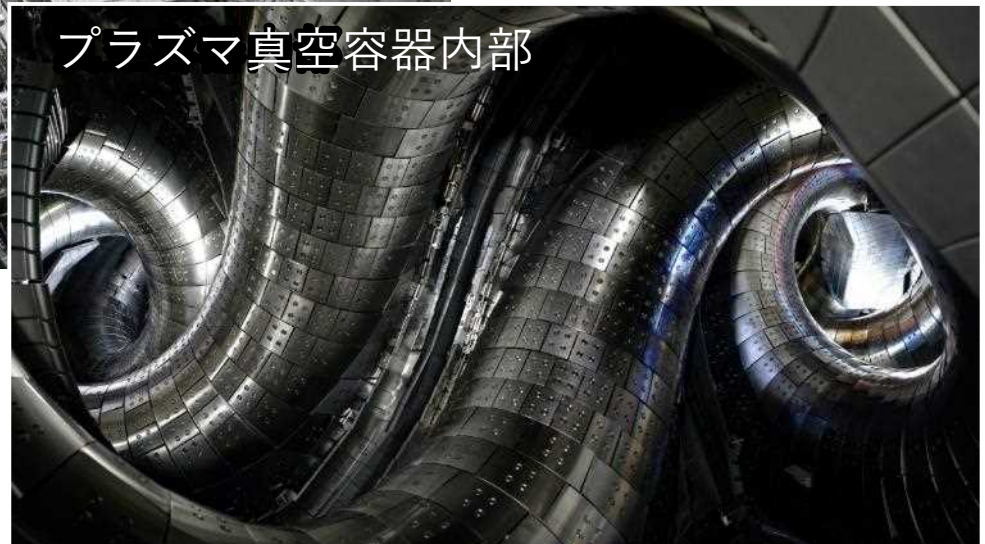
燃料を用いた核融合実験は行いません



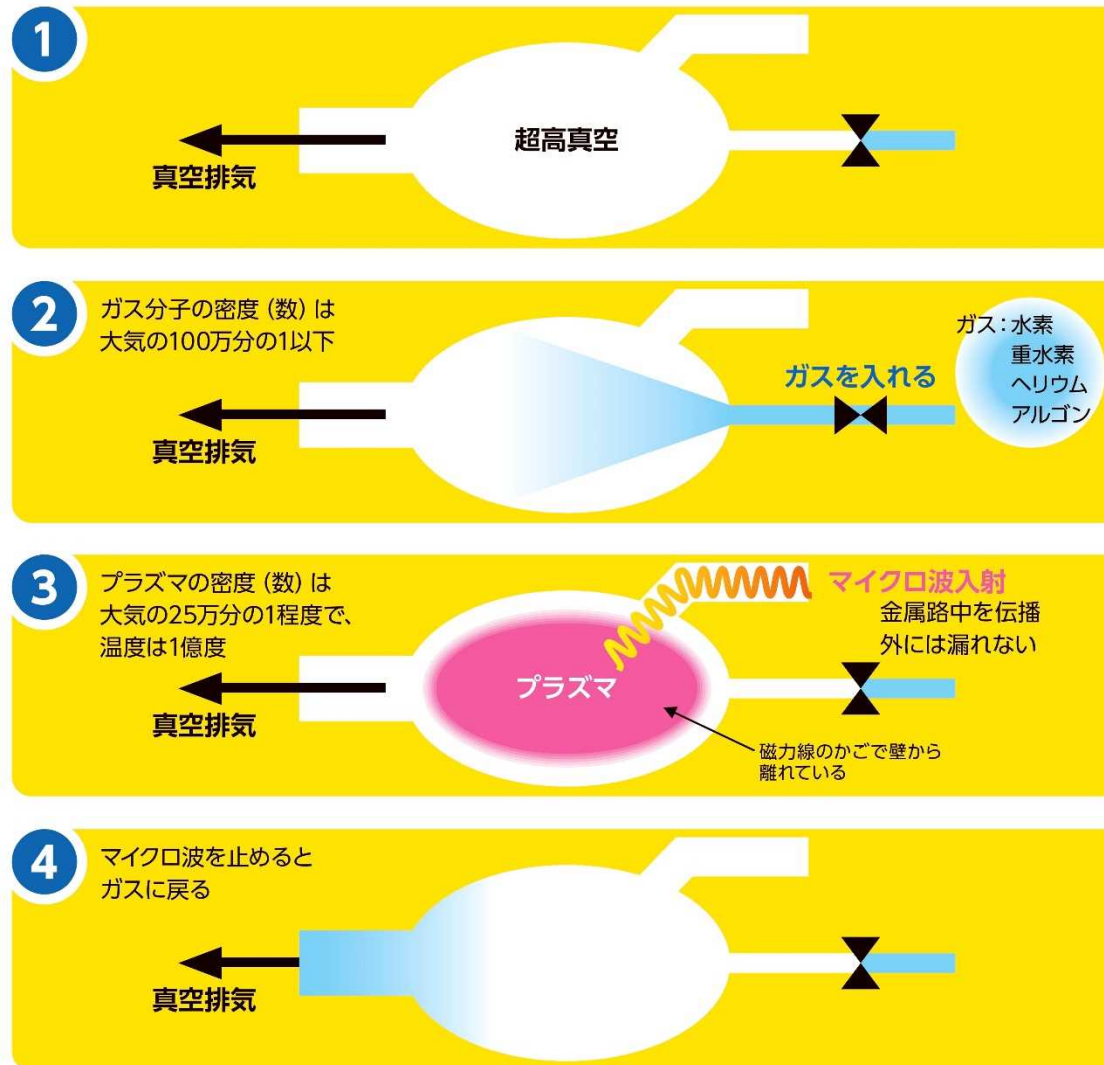
1998年3月実験開始

装置の直径	約 13 メートル
装置の高さ	約 9 メートル
装置の重さ	約 1,500 トン

プラズマ真空容器内部

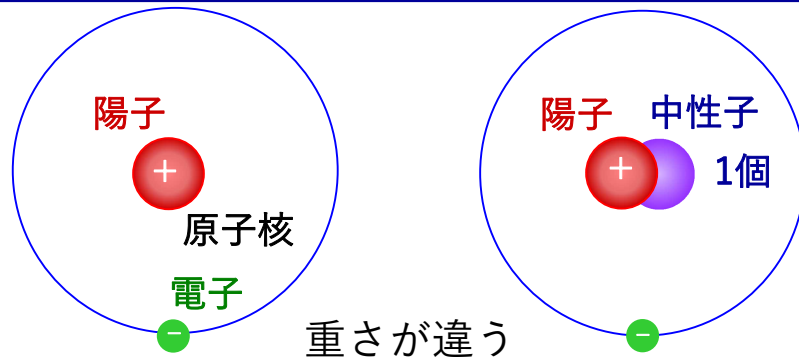


実験の手順



- 蛍光灯と同じで爆発や暴走がありません
- 瞬時に実験を停止することができます
 - ◆ ガスを止める
 - ◆ 加熱を止める
 - ◆ 電気を止める
 - ◆ ガスを入れすぎても止まる
 - ◆ 空気が入っても止まる

重水素実験で超高温のプラズマ生成を目指します

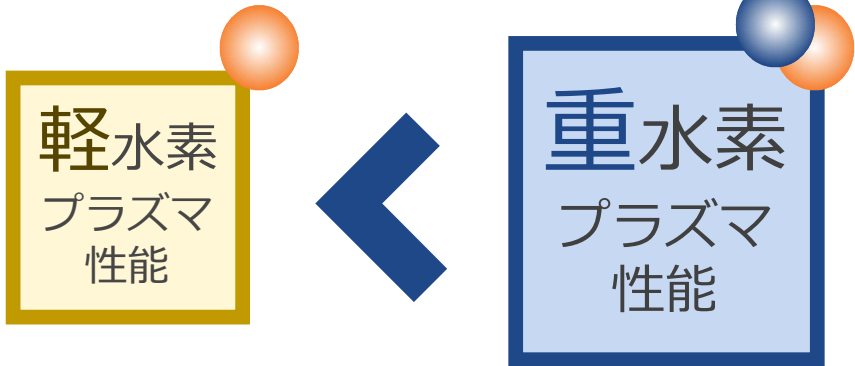


軽水素

重水素

99.985% 自然界の存在比 0.015%

他の装置（トカマク型）の実験で、**重水素**を使ったほうがプラズマの温度が高くなる
ことが、経験的に知られていた



重水素実験の目的

- ✓ より温度の高いプラズマの性質を調べる
- ✓ どうして重水素を使うとプラズマの温度が高くなるのかを調べる

2017年3月7日から重水素実験を開始

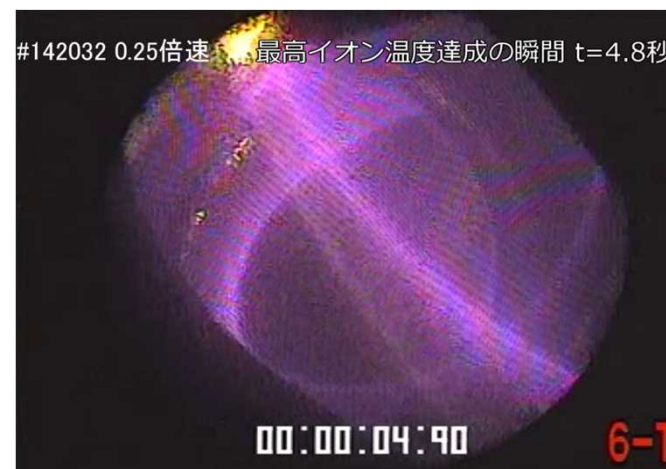
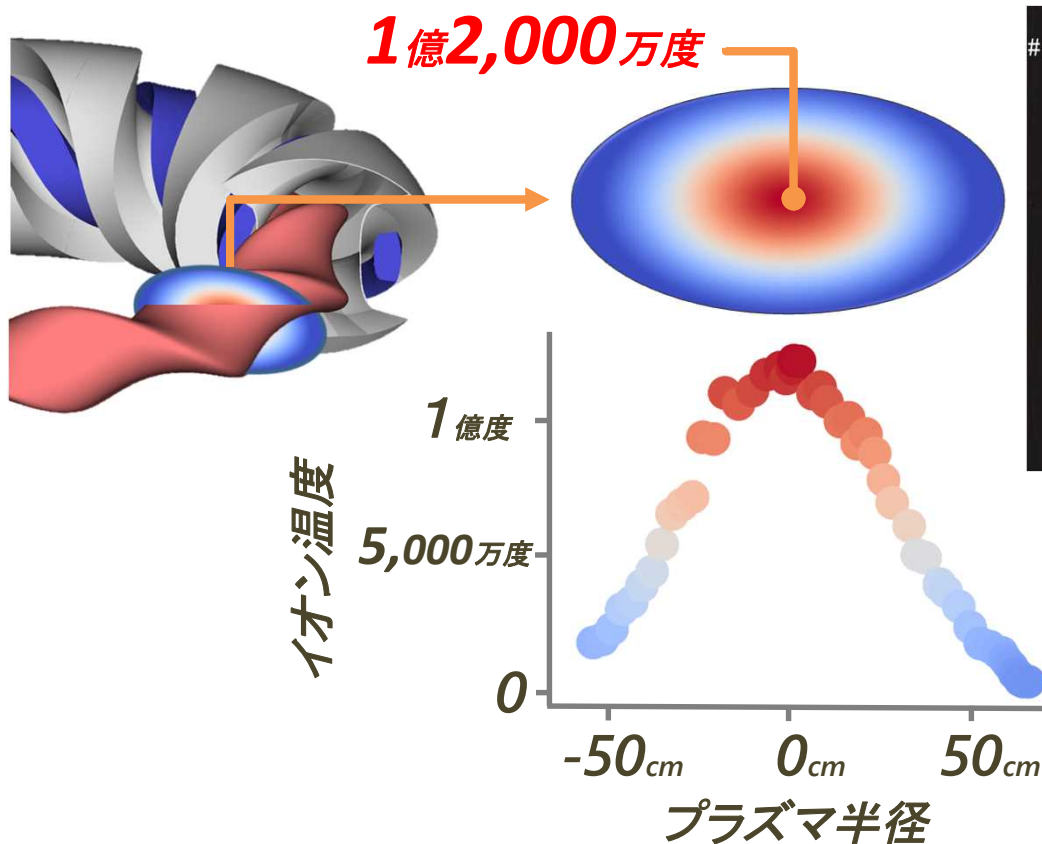
第1年次 2017/3/7~2017/7/7

第2年次 2018/10/23~2019/1/25

第3年次 2019/10/3~2020/1/10

(いずれも軽水素実験期間を除く)

イオン温度の核融合条件を達成 (第1年次実験)



プラズマ中心部が
一番高くなります
核融合条件の一つを達成

ヘリカル型核融合炉に前進

ヘリカル型で世界初

高いイオン温度を保ったまま 電子温度が1億5,000万度に (第3年次実験)



核融合発電炉のプラズマは、イオン温度、電子温度が共に1億度以上

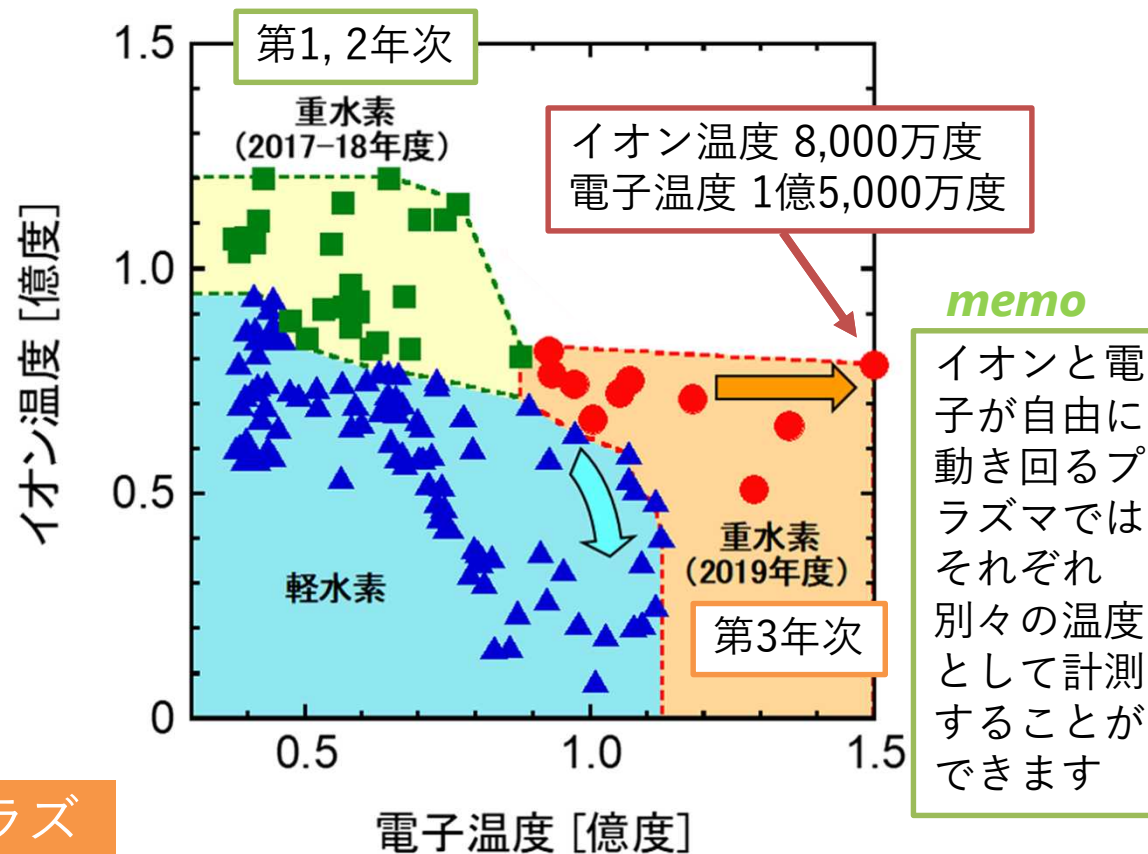
軽水素実験

- イオン温度の最高は9,400万度
- 電子温度を上げようとすると、イオン温度が下がってしまう

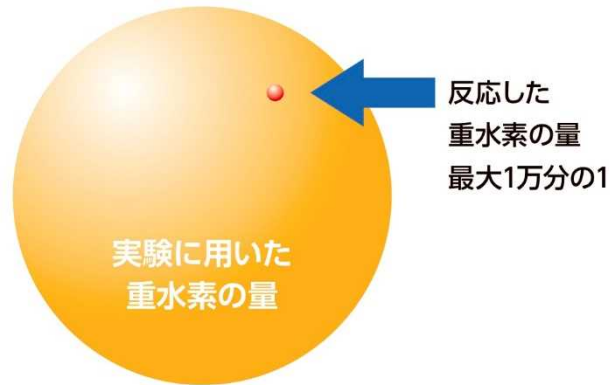
重水素実験

- イオン温度の最高は1億2,000万度
- イオン温度を8,000万度に保ったまま、電子温度を1億5,000万度に上げることに成功

重水素を使うことでプラズマの温度が高くなることを実験で確認



重水素実験を進めるにあたって守ること



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、ごく一部がプラズマが発生しているときだけ、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。

重水素実験を進めるにあたって以下を遵守します

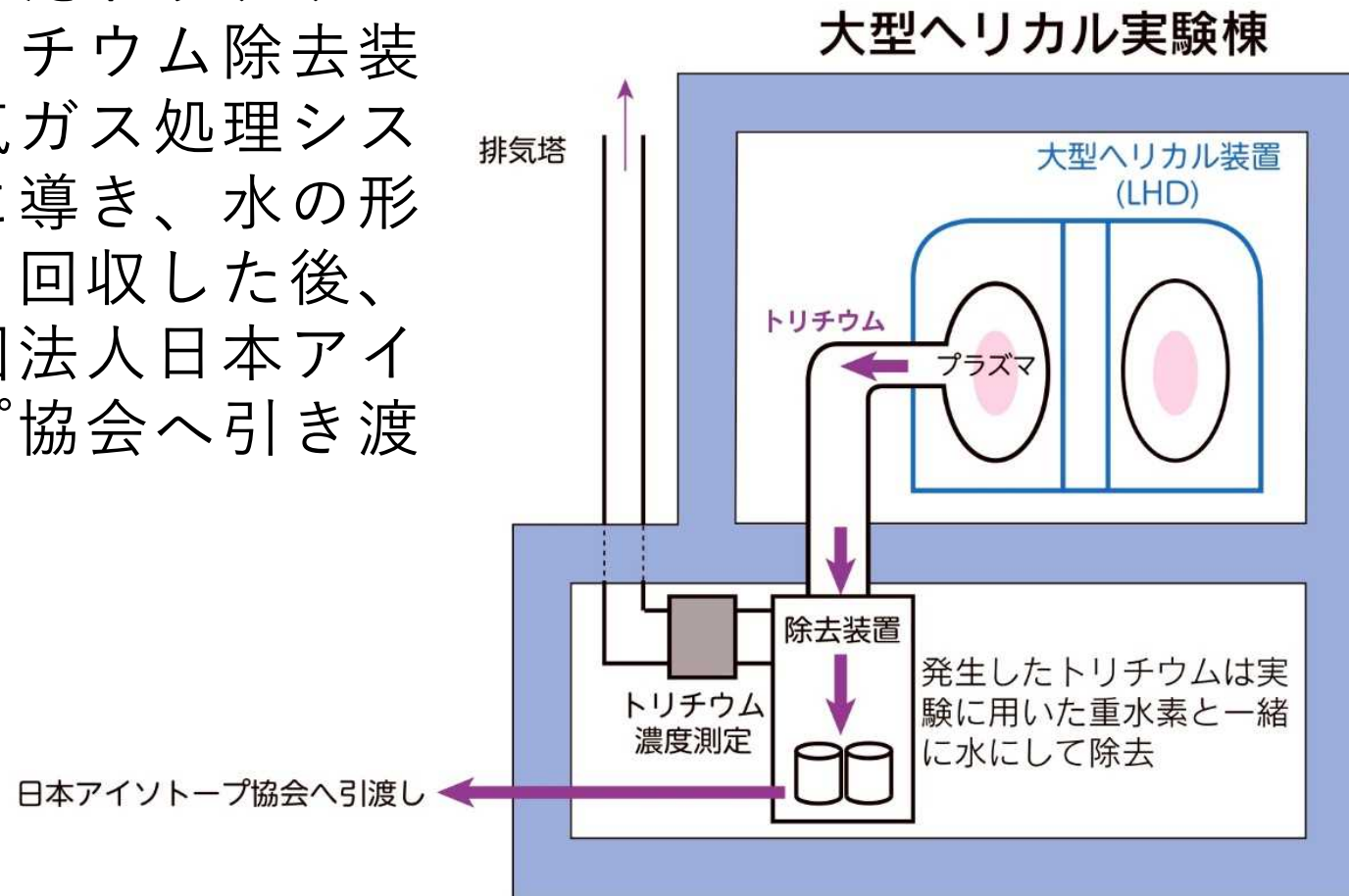
1. 関連法令
2. 協定書および覚書
3. 安全管理計画

また安全監視委員会が行う監視・測定等に最大限協力します

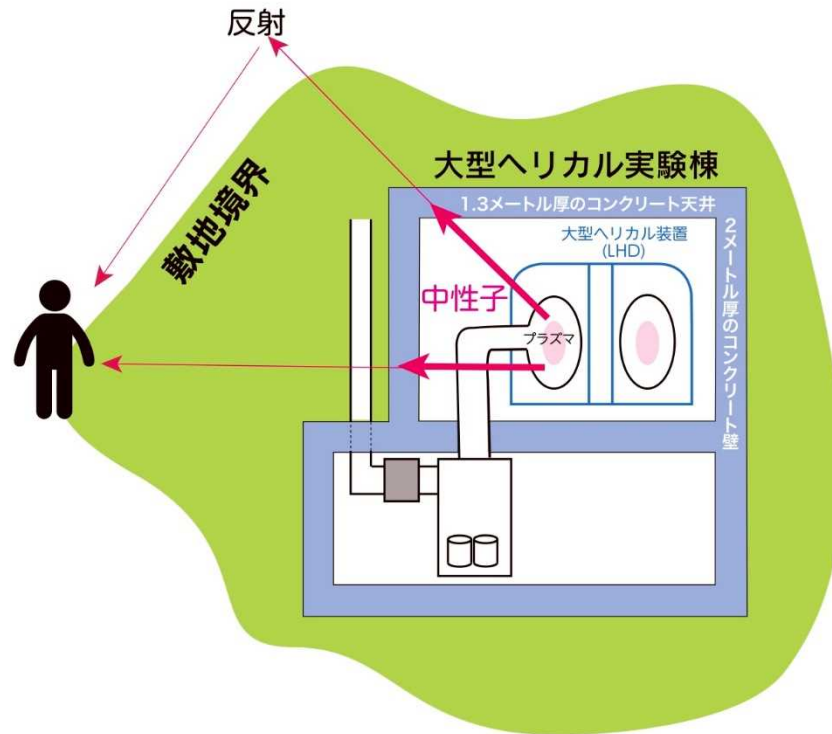
発生するトリチウムは、除去・回収します



発生したトリチウムは、トリチウム除去装置（排気ガス処理システム）に導き、水の形で除去・回収した後、公益社団法人日本アイソトープ協会へ引き渡します。



発生する放射線は、コンクリート壁で遮へいします



発生した中性子は、2メートル厚のコンクリート壁で遮へいします。

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1,000分の1以下
体内のトリチウムの15分の1以下

※遠くなるとさらに小さくなります

自然界にある放射線より少なければ安全



環境放射線はリアルタイムで測定・公開しています

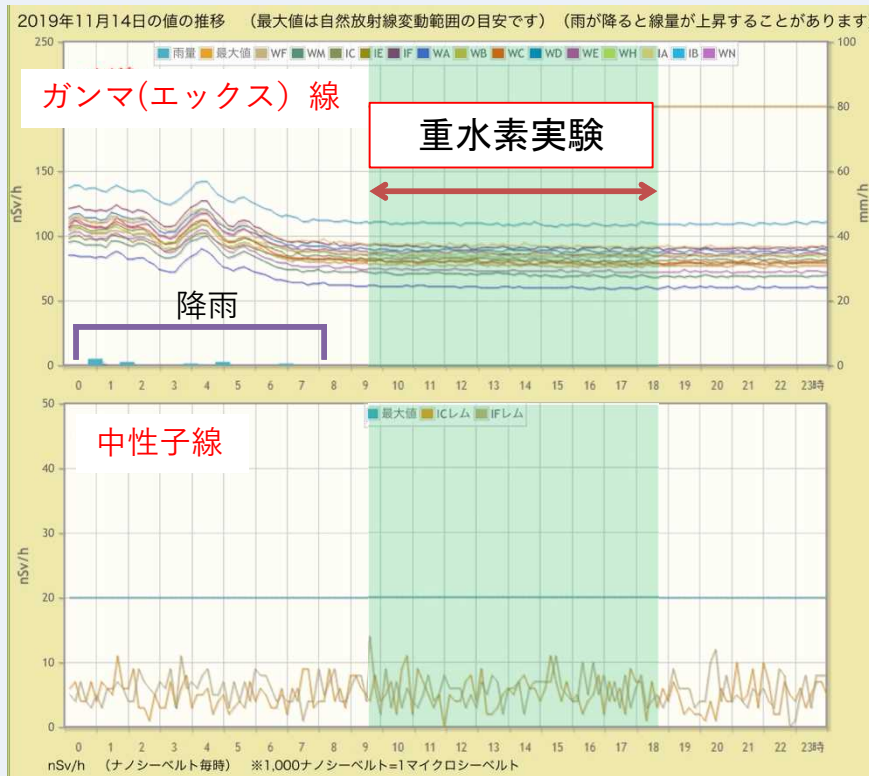


重水素実験中の環境放射線量は変わりませんでした

- 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測定データは、リアルタイムでホームページ上に公開しています。
(<https://sewebserv.nifs.ac.jp/map.php>)

放射線モニタリングシステム (RMSAFE) による環境放射線データ日報トレンドグラフ (全地点)

2019年11月14日



RMSAFEモニタリングポスト



第1年次、第2年次に引き続き、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でした。

重水素実験放射線管理年報で監視結果を公表



監視結果は、いずれも研究所管理値を大きく下回る値でした

中性子、トリチウムの総発生量

	研究所管理値	監視結果 (研究所管理値に 対する割合)
中性子発生量	2.1x10 ¹⁹ 個	0.13x10 ¹⁹ 個 (6.0%)
トリチウム発生 量	370億ベクレル	22億ベクレル (6.0%)

2019年4月1日～2020年
3月31日の監視結果

memo

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
は約10億ベクレルです。

排気塔からのトリチウム放出量

	研究所管理値	監視結果 (研究所管理値に 対する割合)
トリチウム放出量	37億ベクレル	1.2億ベクレル (3.2%)

ホームページに公開しています
https://www.nifs.ac.jp/j_plan/200630.pdf

監視結果等は安全監視委員会で確認・検証



県・3市が、平成26年11月1日、各議会の議決を経て共同設置
県が指名した専門家と3市が指名した住民代表で構成

監視委員会の業務内容

- ・ 研究所の監視及び測定結果の確認
- ・ 委員会による監視・測定結果の検証（クロスチェック）
環境中性子線量・環境水中トリチウム濃度の測定
どちらも実験期とメンテナンス期の年2回
- ・ 研究所の安全対策設備の整備状況の確認
- ・ 研究所の教育・訓練の実施状況の確認
- ・ 非常時における研究所の対応等の確認



環境中性子線量測定の様子

委員会の開催状況

- ・ これまで8回の委員会を開催
- ・ 第8回の委員会（令和2年4月書面開催）では、「大型ヘリカル装置（LHD）における第3年次の重水素実験によって、周辺環境には影響はないと結論づける」との審議結果が出されました。

核融合研究、重水素実験についてのご説明



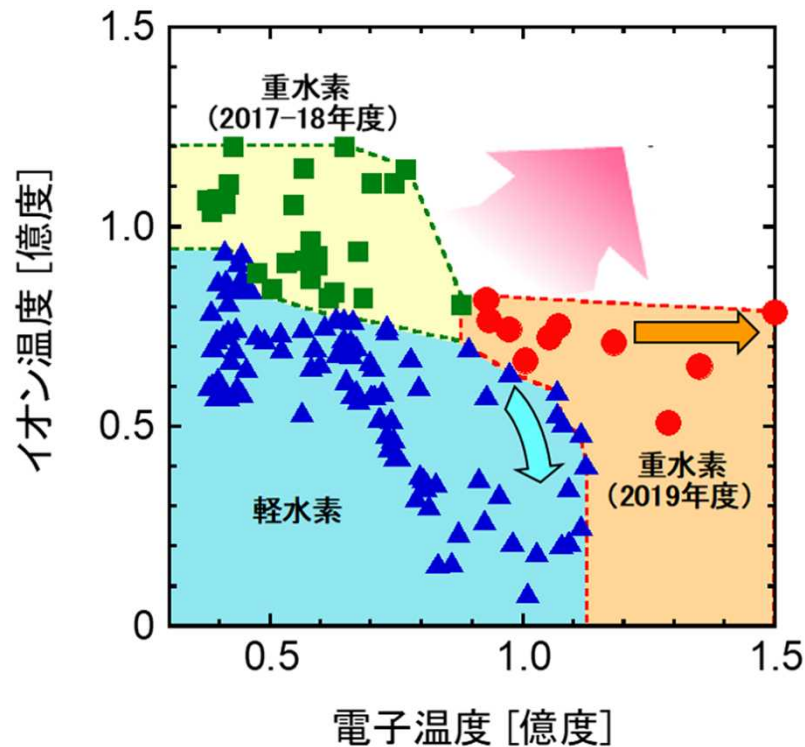
- ▶ 毎年夏に市民説明会を開催（平成18年度から14年で3市のべ5,624名）
- ▶ 市民学術講演会の開催（年2回、令和元年度は計約700名）
- ▶ 研究所オープンキャンパスの開催（今年は9月5日にオンラインで開催）
- ▶ 随時の見学受付（令和元年度は約3,000名）
- ▶ 広報誌の発行（へりカちゃんからのおたより など）



市民学術講演会
（令和元年7月15日バロー文化ホール）

- 令和2年度は、コロナウイルス感染拡大防止のため、市民説明会の規模縮小、市民学術講演会の延期、オープンキャンパスのオンライン化、見学者の人数制限などの影響がでています。
- Withコロナ時代にふさわしい情報発信の方法を考え、引き続き情報公開に努めてまいります。

令和2年度のプラズマ実験の目標とスケジュール



- プラズマのさらなる高温度化
- 重水素と軽水素でプラズマの温度の違いが出る理由を解明



イオンと電子が共に1億2,000万度を
超える核融合炉級プラズマの実現

➤ 重水素実験： 10月15日～1月22日

➤ 軽水素実験： 1月26日～2月18日

- LHDの重水素実験により、プラズマの高性能化が着実に進展し、学術論文等によって発表された研究成果は、国際的にも高く評価されています。
- 重水素実験の安全性は確保されています。また周辺環境に影響を与えていません。これらのことは、安全評価委員会や安全監視委員会で確認いただいています。
- 今年度の実験は、核融合炉級プラズマの実現を目指して、安全性を最優先に実施し、また放射線関連データの公開等、引き続き情報公開に努めてまいります。
- 今後とも皆様のご理解とご支援の程よろしくお願い申し上げます。