


令和4年3月22日
第11回 安全監視委員会



大型ヘリカル装置(LHD)における 第5年次の重水素実験の実施結果等 について

大学共同利用機関法人

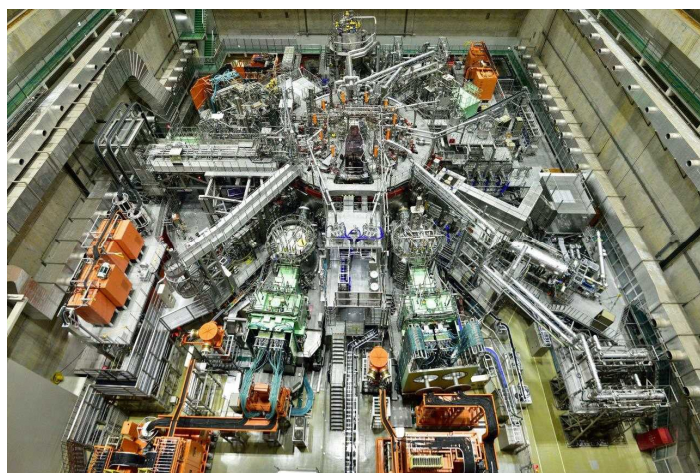
自然科学研究機構 核融合科学研究所

LHD重水素実験の目的

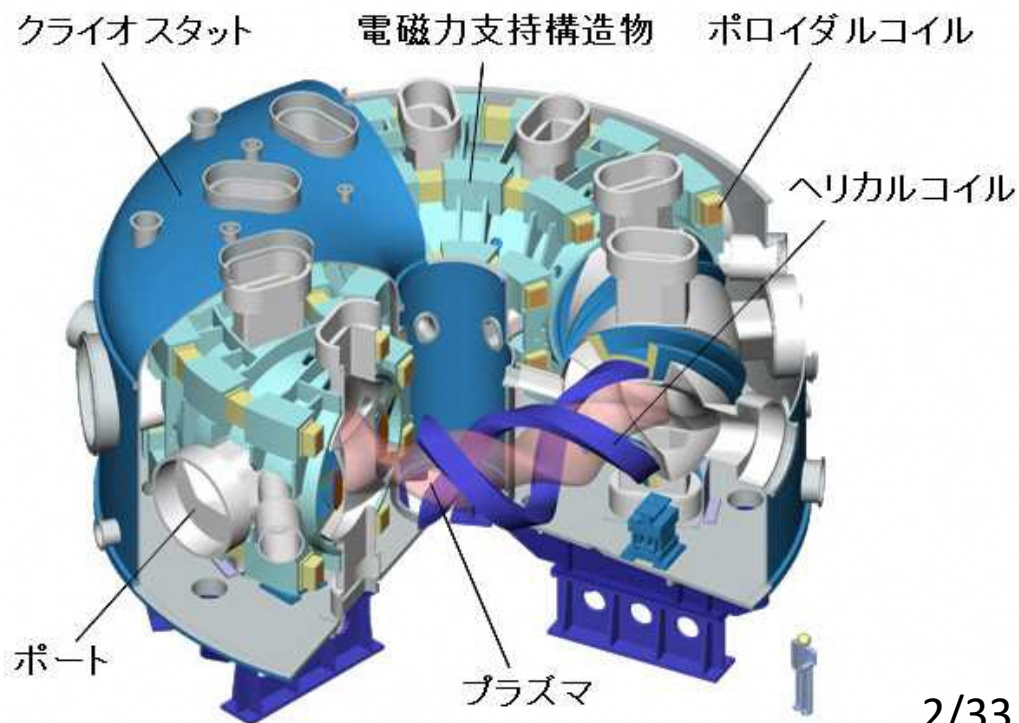
重水素ガスを用いてイオン温度1億2,000万度を達成し、**核融合発電を見通せる高性能プラズマの研究を遂行する。**

⇒核融合炉設計につながるデータベースの蓄積と学術基盤の構築を行う。

⇒**新たな研究領域の開拓や実験の多様性を拡大する。**

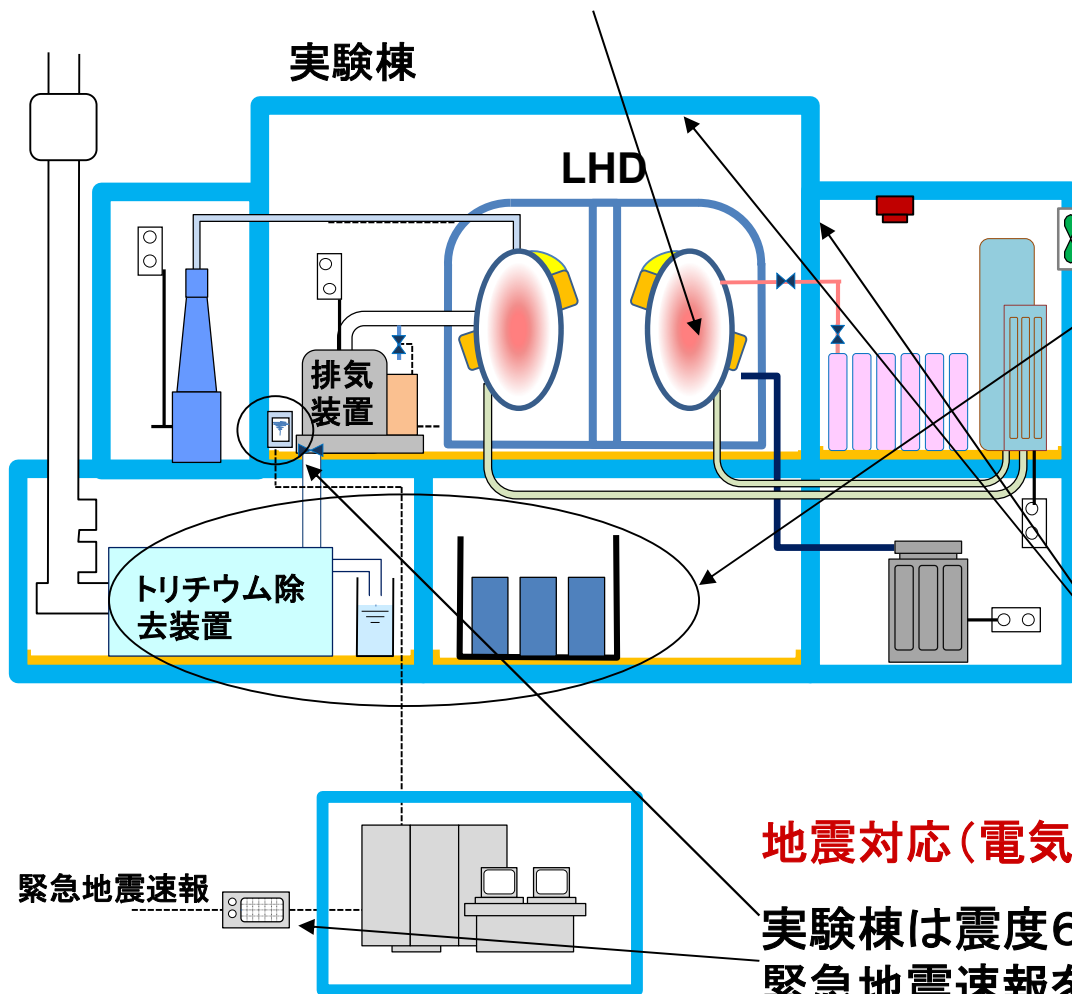


- ・世界最大級の超伝導核融合プラズマ実験装置
装置の高さ：約9メートル
装置の直径：約13メートル
装置の重量：約1500トン
- ・1998年4月 LHD実験開始
- ・2017年3月 LHD重水素実験開始



LHDにおける重水素実験

プラズマがついている時だけ、真空容器の中でトリチウムと中性子が発生



トリチウム

1回に最大で4百万分の1 g
(1.0×10^8 Bq) 発生
放射性物質として扱わなくてよい量

処置

トリチウム除去装置で回収し、
公益社団法人日本アイソトープ協会へ引渡し

中性子

1回に最大で 5.7×10^{16} 個 発生

処置

本体室のコンクリートの壁で1千万分の1に減衰、遮蔽

地震対応(電気が止まると、即座に消える)

実験棟は震度6強でも倒壊しない、震度4で自動停止
緊急地震速報を受信すると自動停止

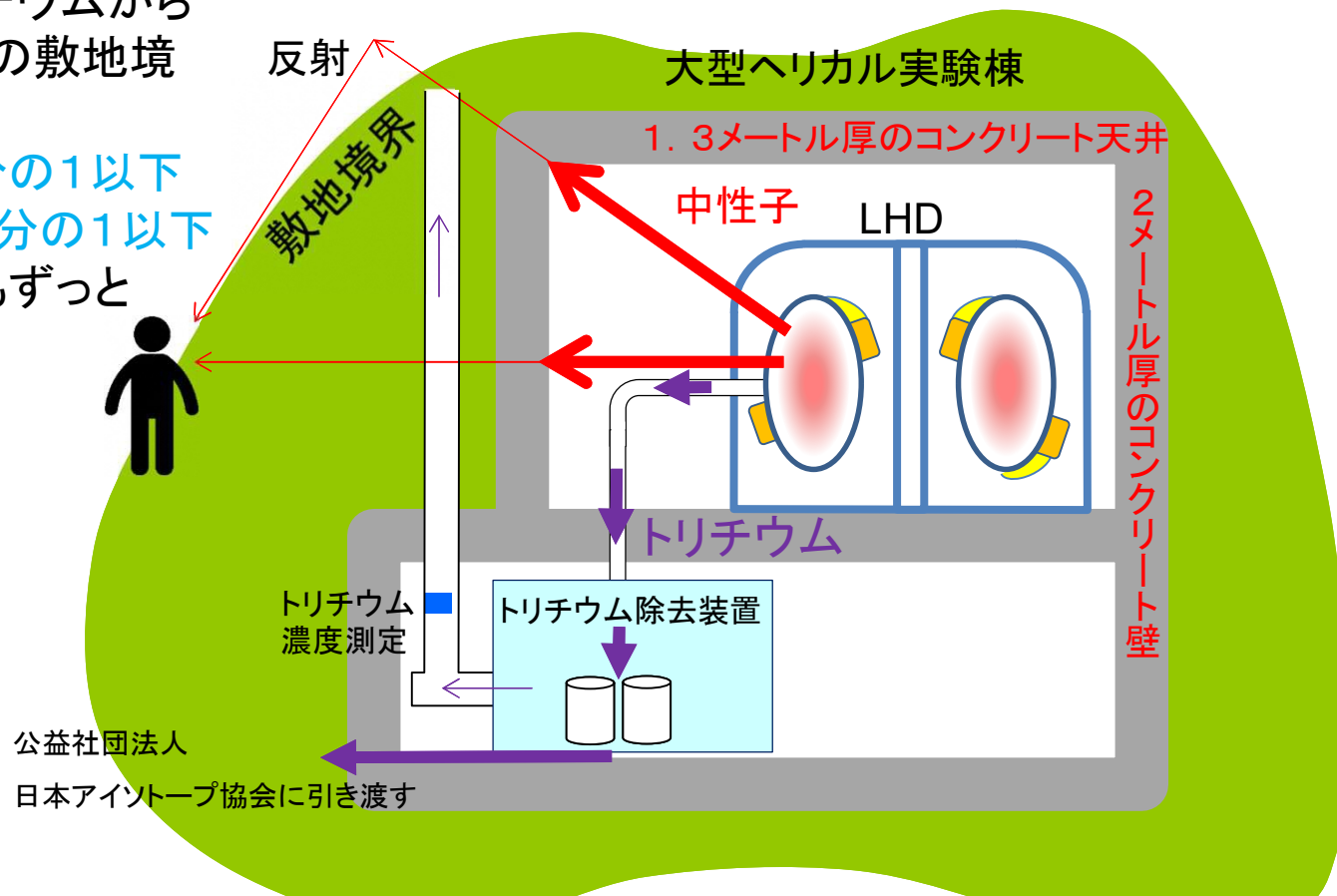


重水素実験で発生する放射線等の環境への影響

- 実験で発生する中性子は、建物のコンクリート壁で遮蔽⇒1千万分の1に減衰
- 1回の実験で発生するトリチウムの量は、最大でも4百万分の1グラムで、放射性物質としての扱いは必要ない量 ⇒ トリチウム除去装置により回収

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、

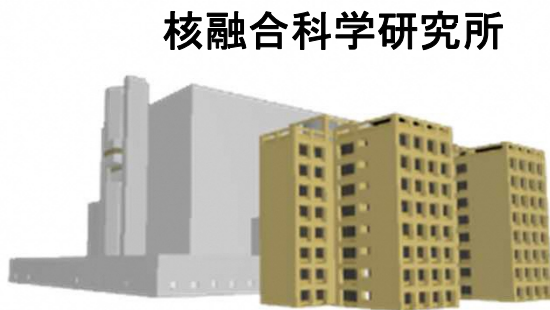
- ✓ 自然放射線の1,000分の1以下
- ✓ 体内のトリチウムの15分の1以下と自然界のレベルよりもずっと少ない。



国内(量子科学技術研究開発機構)や諸外国の多くの研究施設で、何十年も行われており、初めての実験ではありません。安全性は確認されています。



安全性の評価と監視体制



核融合科学研究所

諮問
提言・
答申

核融合科学研究所
重水素実験安全評価委員会

研究所が設置、運営
研究所外の専門家とジャー
ナリスト、地元有識者で構成

- (1) 安全性に関すること
 - ①トリチウムの除去・処理・処分（運搬を含む）に関すること
 - ②中性子の遮蔽に関すること
 - ③放射性廃棄物の管理に関すること
 - ④周辺環境の監視・測定に関すること
 - ⑤地震その他の災害時の対応・体制に関すること
 - ⑥その他安全性の確保に関すること
- (2) 実験環境に関すること
 - ①重水素実験開始に関すること
 - ②重水素実験実施に関すること

監視 ↑ ↓ 協力

核融合科学研究所
安全監視委員会

県・3市が設置、運営
県が指名した専門家と3市
が指名した住民代表で構成

2014年11月1日、県・3市が各議会の議決を経て共同設置

研究所の監視及び測定結果の確認
環境中性子線量等の測定等を実施

覚書第2

丙(核融合科学研究所)は、協定書第5条に定める研究施設の整備計画、研究計画及び研究内容に重大な変更があった場合について、事前にその安全性についての検討を核融合科学研究所重水素実験安全評価委員会に諮り、その結果を甲(岐阜県)及び乙(土岐市・多治見市・瑞浪市)へ説明を行うものとする。

(2007年11月)

安全管理計画は妥当という評価、また、第三者による監視委員会の設置などを提言

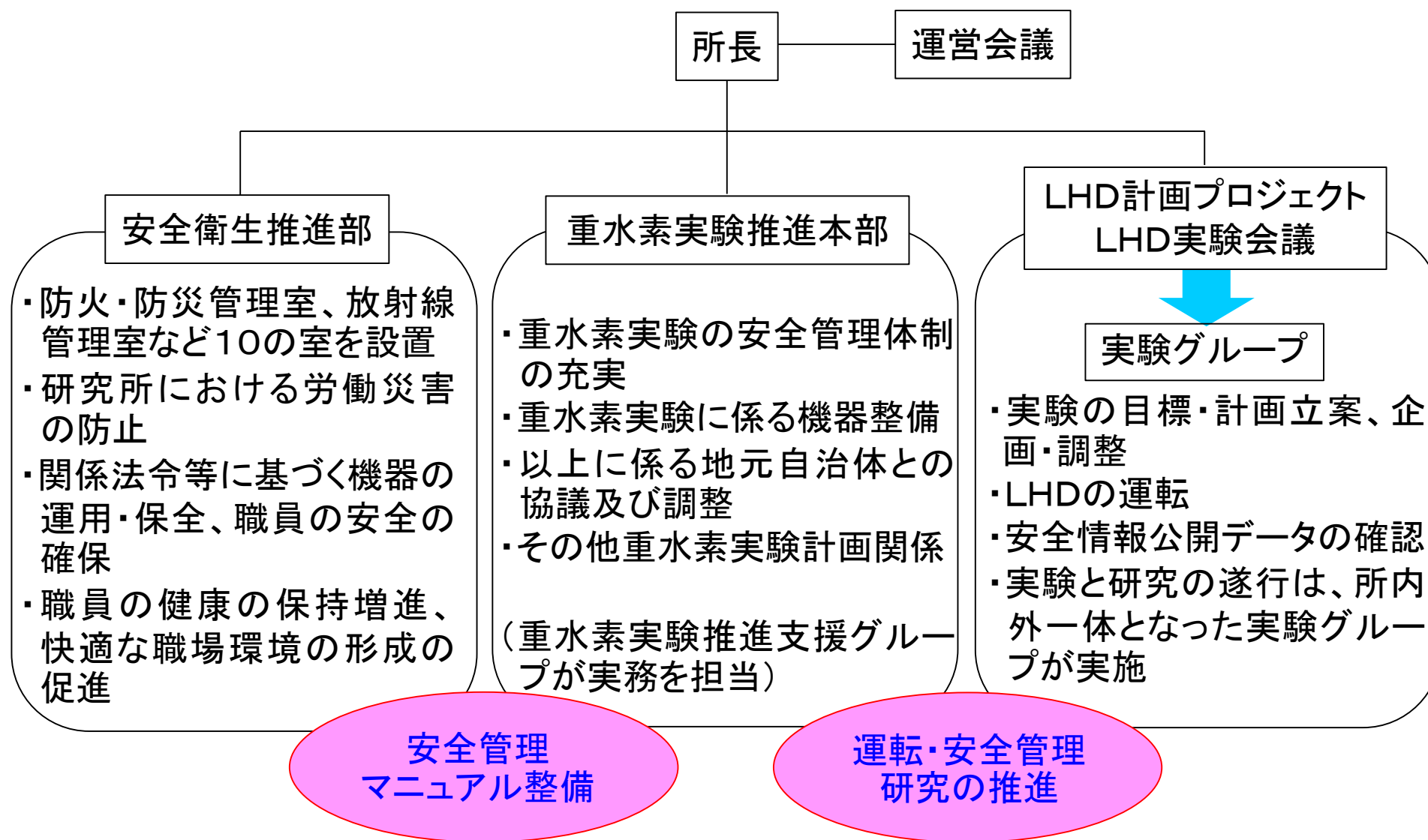
(2012年2月)

東日本大震災を受けて再検討された安全管理計画は妥当という評価、また、安全管理計画を確実に実行に移すことが肝要であるとの答申

2013年3月28日

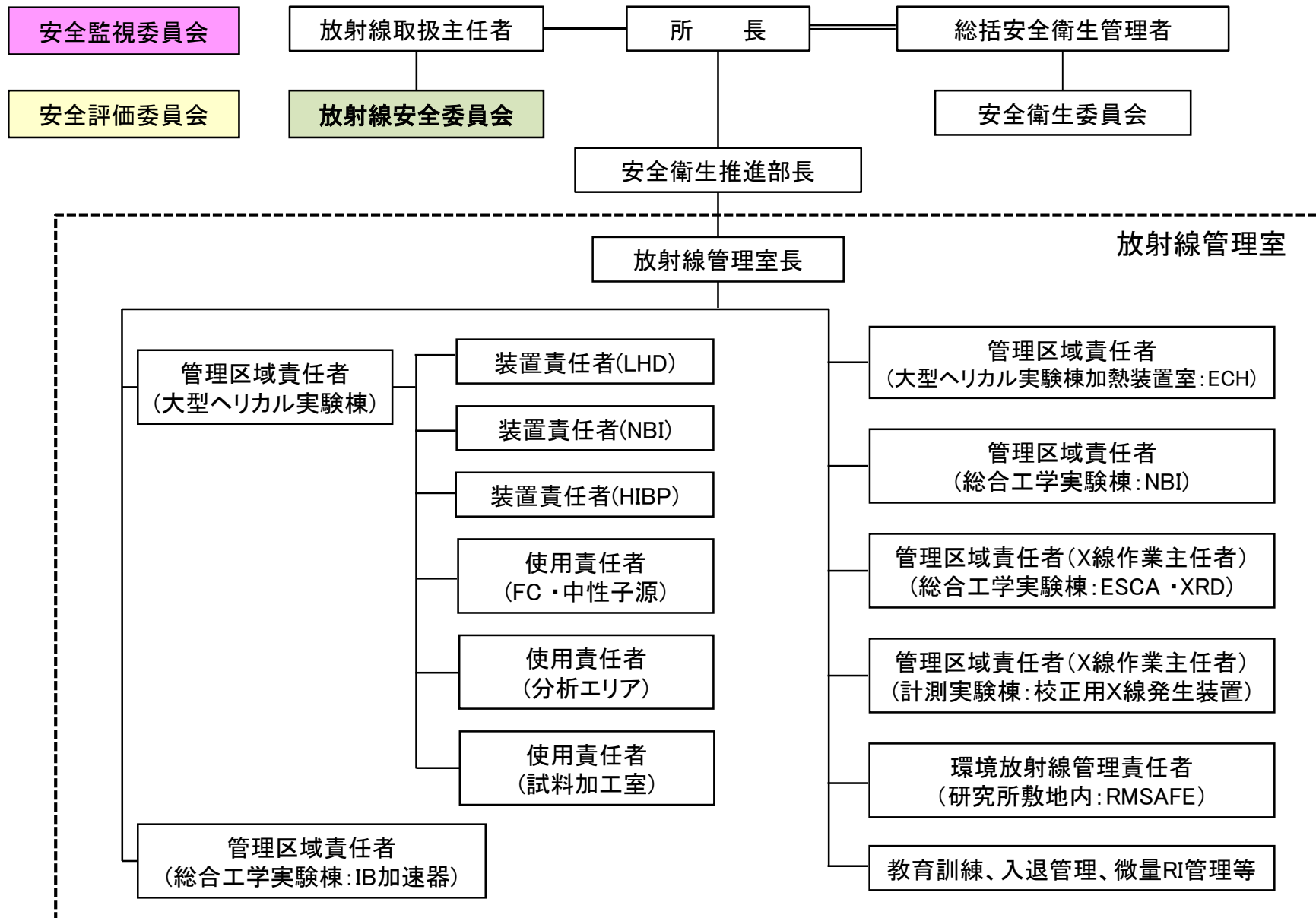
岐阜県・3市(土岐市、多治見市、瑞浪市)と研究所の間で、周辺環境の保全等に関する協定書及び覚書を締結

LHD重水素実験実施体制の概要





放射線安全管理組織





重水素実験安全管理計画に基づく研究所管理値

○放射線発生総量

- 中性子発生量(トリチウム発生量)
2. 1×10^{19} 個/年(370億ベクレル)
- トリチウム発生量は中性子発生量から評価

○敷地境界線量

- $50 \mu\text{Sv/年}$ (法令の20分の1)

○排気

- トリチウム放出量 37億ベクレル/年
- トリチウム濃度(3月平均値) 2×10^{-4} ベクレル/ cm^3 (法令の25分の1)
- アルゴン41濃度(3月平均値) 5×10^{-4} ベクレル/ cm^3 (法令値)

○排水

- トリチウム濃度(3月平均値) 0.6 ベクレル/ cm^3 (法令の100分の1)



第4年次のLHD重水素実験における放射線監視結果(確定値) (2020年4月1日～2021年3月31日)

第4年次のLHD重水素実験における放射線監視結果(2020年4月1日～2021年3月31日)は、下表のとおりです。

監視項目	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	2.1×10^{19} 個	0.20×10^{19} 個 (9.7%)
トリチウム発生量	37 GBq	3.6 GBq (9.7%)
敷地境界線量	50 μ Sv	$0.00 \pm 0.06 \mu$ Sv (0.00 \pm 0.11%)
排気塔からのトリチウム放出量	3.7 GBq	0.10 GBq (2.8%)
排気中トリチウム濃度(3月平均)	2×10^{-4} Bq/cm ³	0.008×10^{-4} Bq/cm ³ (0.4%)*
排気中アルゴン41濃度(3月平均)	5×10^{-4} Bq/cm ³	0.12×10^{-4} Bq/cm ³ (2.4%)**
排水中トリチウム濃度(3月平均)	0.6 Bq/cm ³	0.0063 Bq/cm ³ (1.0%)***

*第4年次における最大値(2020年4月～2020年6月)

**第4年次における最大値(2020年10月～2020年12月)

***第4年次における最大値(2020年7月～2020年9月)

LHD重水素実験放射線管理年報(2020年4月1日～2021年3月31日)からの抜粋

https://www.nifs.ac.jp/j_plan/210623-02.pdf

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。



第5年次のLHD重水素実験 (2021年度のLHDプラズマ実験)計画の公表について

第5年次のLHD重水素実験(2021年度のLHDプラズマ実験)計画については、地元自治体等へ通知の後、ホームページ等で公表しました。

2021.8.19

HOME > ニュース > 令和3年度における大型ヘリカル装置(LHD)のプラズマ実験計画について(お知らせ)

令和3年度における大型ヘリカル装置(LHD)のプラズマ実験計画について (お知らせ)

自然科学研究機構 核融合科学研究所(岐阜県土岐市 所長・吉田善章)は、大型ヘリカル装置(LHD)の第23サイクルのプラズマ実験を令和3年10月14日(木)から開始しますので、お知らせします。第23サイクルのプラズマ実験では、重水素ガスを用いた実験(重水素実験)の実施を昨年度と同様、初日より予定しており、下記スケジュール等については、7月下旬から現在までに地元自治体等へ通知したところです。研究所の重水素実験について、市民の皆様のご理解と地元自治体等関係者のご協力をいただき誠にありがとうございます。お陰をもちまして、昨年度の第22サイクルプラズマ実験における重水素実験で、イオン温度と電子温度が共に1億度を超える高温プラズマの実現に成功するとともに、将来の核融合発電の燃料である「重水素」と「三重水素」を、「重水素」と「軽水素」によって模擬した実験により、水素同位体*が混ざりあう核融合発電にとって好ましい状態が乱流によってもたらされることを世界で初めて観測するなど、今後の核融合研究の基盤となる成果を挙げる事ができました。

LHDでは、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認し、LHDの研究は新たな段階に入りました。これからは、このような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必要な学術研究を中心に進めます。さらに、核融合研究で得られた知見を天体現象などの理解のために普遍化する新たな研究の展開も図る予定です。

本実験サイクルにおいても、実験の安全性を最優先事項として、機器の保守点検、安全講習会、巡視等の実施、及び万が一の事故に備えた緊急連絡・対応の訓練を実施するとともに、24時間体制で監視を行っていきます。また、機器の保守点検等の作業は「新型コロナウイルス感染予防対策マニュアル」に従って行うなど、新型コロナウイルス感染症対策にも万全を期しています。引き続き、放射線関連データや実験の進行状況を随時ホームページ上で公開する等、情報公開に努めてまいります。

記

1. 実験期間 令和3年10月14日(木)～令和4年2月17日(木) (予定)
(うち、重水素実験 10月14日(木)～令和4年1月21日(金) (予定))
2. 実験時間 原則として、平日の火曜日から金曜日までの9:00～18:45
※月曜日に実験を行う場合もあります。

*水素同位体：水素の仲間の元素のこと。質量数が1、2、3の水素を、それぞれ「軽水素」、「重水素」、「三重水素」と呼びます。将来の核融合発電では、「重水素」と「三重水素」を用いる予定ですが、LHDプラズマ実験では「重水素」と「軽水素」を用います。



新型コロナウイルス感染症対策について

1)「保守点検等作業時の新型コロナウイルス感染予防対策マニュアル」等の整備・運用

研究所職員等が保守点検等の作業を行う際の新型コロナウイルス感染予防対策として、

- ・現場での朝礼・点呼、各種打合せ、着替えや食事休憩、密室、密閉・狭隘空間における作業などについて、他の作業者と一定の距離を保つことや作業場所の換気の励行など、「三つの密」の回避のための対策徹底
- ・作業の現場等において、アルコール消毒液の設置・使用や不特定の者が触れる箇所の定期的な消毒
- ・現場・打合せでのマスクの着用、石鹸による手洗い・うがいの励行などを明文化したマニュアルや「新型コロナウイルスに感染したことが確認された場合の対応マニュアル」についても別途整備し、適切な運用に努めています。

2)「新型コロナウイルス感染症に対する核融合科学研究所行動指針(BCP)」の運用

研究所ではパンデミックを含む災害が生じた際においても事業が停滞することがないように事業継続計画書を策定しており、平時から事業継続能力の強化に取り組んでいます。

昨年度、新型コロナウイルスの感染状況に応じた活動の目安とする研究所の行動指針(BCP)を策定しました。感染状況等により活動レベルを6段階に分けた、研究所職員、学生、会議・出張、所外者の入構等についての行動指針を明文化し、対応を図っています。

3)遠隔実験体制・システムの整備

大学共同利用機関、国内外の核融合研究における中枢拠点としての役割を従来どおり果たすべく、LHDの遠隔実験体制及びシステムを整備し、国内外の大学・研究機関との共同研究を滞りなく実施しています。



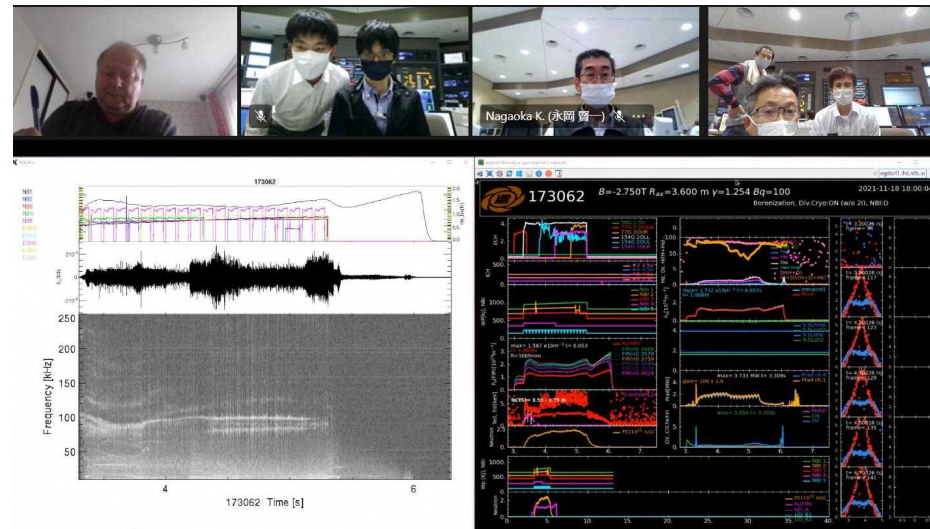
2021年度のLHDプラズマ実験の実施概要について

- ▶ 第5年次の重水素実験にあたる2021年度のLHDプラズマ実験を10月14日に開始しました。
 - プラズマ実験は、平日の火曜日から金曜日まで行い、月曜日には機器の点検を行いました。
 - プラズマ実験日においては、朝8:40から実験前ミーティングを行い、次いで超伝導コイルの励磁を行いました。
 - プラズマ実験は18:45までとし、次いで超伝導コイルの減磁を行い、19:00に減磁を完了しました。
 - その後、翌日の実験内容に応じて真空容器壁の調整等を行うことができました。
 - コロナ禍を考慮して整備した新しい共同実験の体制(遠隔実験等)の下、**核融合発電の実現に向けたプラズマの学術研究を進めました。**

今年度の重水素ガスを用いたプラズマ実験は1月21日に終了し、引き続き、軽水素やヘリウムなどを使ったプラズマ実験を2月17日まで行いました。



実験初日(10/14)の実験前ミーティング



英国・カラム研究所との
遠隔共同実験(11/18)の様子



2021年度のLHD実験の成果

イオン温度1億2千万度の実現など、これまでの重水素実験の成果に基づき、核融合の早期実現に必要な学術研究を国際共同研究の枠組みを活用して強力に推進しています。

ホウ素粉末のふりかけでプラズマの温度が上昇
- リアルタイムで不純物と乱流を抑制 -
「ネイチャーフィジックス」に論文掲載

核融合プラズマの乱流抑制に新たな可能性
- 日欧の国際共同研究により革新的核融合炉への新展開 -
米科学誌「フィジカル・レビュー・レターズ」に論文掲載

研究論文「フィジカル・レビュー・レターズ」

概要

核融合発電の実現には高温のプラズマを安定に維持する必要があります。ところが、プラズマを閉じ込める容器の壁から発生する不純物や、プラズマ中に発生する乱流⁽¹⁾によって、プラズマの温度が低下することがあります。核融合科学研究所（岐阜県土岐市）の増嶋高教授らと米国・プリンストンプラズマ物理研究所のフェデリコ・ネズボリ博士らの国際共同研究グループは、大型ヘリカル装置(LHD)⁽²⁾において、プラズマ実験の最中にホウ素⁽³⁾の粉末をプラズマにふりかけることにより、リアルタイムで壁からの不純物を低減すると同時に、プラズマ中の乱流を抑制できることを明らかにしました。本成果は、高温のプラズマを安定に維持する方法の確立に大きく貢献するものです。

この研究成果をまとめた論文が1月10日に、科学雑誌「ネイチャーフィジックス」の電子版に掲載されました。

研究の背景

核融合発電を実現するためには、真空容器の中で水素のプラズマを作り、そのプラズマを磁場で閉じ込めて1億度以上の高温に加熱し、安定に維持することが必要です。ところが、容器の壁から発生する酸素などの不純物が水素のプラズマに入ると、熱が逃げプラズマの温度が下がります。また、高温のプラズマ中には、大小様々な大きな渦を伴った流れ（乱流）が発生します。この乱流によってプラズマが吹き飛ばされることで、プラズマから熱が逃げ温度が下がってしまいます。プラズマを磁場に必要高温にするためには、このような温度の低下を抑える方法を確立しなければなりません。不純物によるプラズマの温度低下を抑える方法の一つが、不純物が壁からプラズマに入らないように、壁の表面にホウ素の膜を作ることです。ホウ素の膜は、真空容器の中の主な不純物である酸素を吸着する性質をもっているからです。核融合科学研究所の大型ヘリカル装置（LHD）では、毎年実験を開始する前にホウ素の膜を作っています。しかし、実験が始まると、新たにホウ素の膜を作ることには難しいという問題がありました。一方、プラズマ中の乱流については、その制御方法を調べた研究が、実験シミュレーションを用いて行われています。プラズマ中の乱流は、壁からの不純物とは異なる方法で抑制することが研究されていますが、これらと同じ方法で同時に抑制することができれば、プラズマの高温状態を維持するための非常に有望な方法となります。

研究成果

核融合科学研究所は、米国・プリンストンプラズマ物理研究所（PPPL）との国際共同研究で、プラズマ中にホウ素などの粉末をふりかけることができる装置（粉末落下装置）をLHDに設置しました。この粉末落下装置はPPPLで開発されたもので、米国やドイツなどのプラズマ実験装置にも設置されています。LHDでは、粉末落下装置の設置により、プラズマ実験を行いながらホウ素粉末をふりかけ、リアルタイムで壁にホウ素膜を作ることができるようになりました。その結果、壁からの不純物を低減することが実現されました。さらに、PPPLのフェデリコ・ネズボリ博士らと核融合科学研究所の増嶋高教授らは、ホウ素粉末をプラズマにふりかける最中に、プラズマからの熱の逃げが抑えられ、高温状態を安定に維持できることを見出しました。これは、壁からの不純物の低減だけでは説明できないものでした。粉末ふりかけによる温度の上昇は、他のプラズマ実験装置でも、極めて短い時間観測された例はありましたが、LHDでは、その状態を安定に維持することができました。何故かのような良い状態を安定して維持できるのか、その原因を明らかにするため、高度な計測手法を用いてプラズマの状態を詳細に計測しました。そして、取得した計測データとこれを高次元で解析した実験及び計算シミュレーションの膨大なデータを用いて、解析を行いました。その結果、ホウ素粉末のふりかけによりプラズマ中に発生していた乱流が抑制されていることがわかりました。つまり、ホウ素粉末をプラズマにふりかけることにより、壁からの不純物を低減すると同時に、プラズマ中の乱流を抑制して温度の低下を抑えられたことを明らかにしたのです。

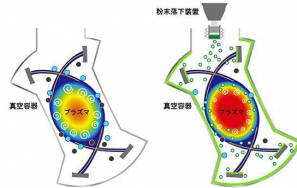


図1 LHDの断面図。青や灰色の●が真空容器の壁から発生した不純物で、白の渦がプラズマ中の乱流を表す。(左) ホウ素粉末を落下なし。壁からの不純物が多く、プラズマ中の乱流が大きい。(右) ホウ素粉末を落下時、緑の●がホウ素。容器の壁がホウ素でコーティングされ、壁からの不純物が減少している。また、プラズマ中の乱流が小さくなる。その結果、プラズマからの熱の逃げが小さくなり、プラズマの温度が高くなる。

研究成果の高橋

本研究結果によって、プラズマにホウ素粉末をふりかけ、リアルタイムで壁からの不純物とプラズマ中の乱流を抑制する方法を示すことができました。従来の核融合炉では、運転の最中にプラズマの温度低下を抑えることが求められます。その方法の確立に、本成果は大きく貢献するものです。

研究論文「フィジカル・レビュー・レターズ」

概要

核融合発電の実現には、高温のプラズマを安定に維持することが必要です。ところが、プラズマ中に発生する乱流⁽¹⁾がその閉じ込めを劣化させるため、乱流を抑制することが求められています。核融合科学研究所（岐阜県土岐市）の増嶋高教授、近藤英樹教授、増嶋高教授、マックス・ブランク、プラズマ物理研究所（ドイツ、ライプツィヒ）のフェリックス・ワグナー博士、パロアルト・ボス博士らの国際共同研究グループは、大型ヘリカル装置(LHD)⁽²⁾とウェンデルシュタイン7-X装置(W7-X)⁽³⁾との詳細な比較実験を世界で初めて実行し、プラズマを閉じ込める磁場の構造が乱流の抑制に重要な影響を及ぼすことを明らかにしました。スーパーコンピュータによるシミュレーションでも確認されたこの結果は、乱流抑制の新たな可能性を示すものであり、従来の磁場構造を持つ従来の核融合炉を改良した研究にも大きく貢献すると期待されます。

この研究成果をまとめた論文が米国の科学雑誌「フィジカル・レビュー・レターズ」に近日掲載される予定です。

研究の背景

核融合発電は高温のプラズマ中で核融合反応を起こし、そのエネルギーを取り出します。これは、持続可能な社会を目指すことにおいて国際的な課題となっており、核融合エネルギーの利便性には1億度以上の高温のプラズマを強力な磁場で閉じ込めることが必要です。ところが、磁場で閉じ込められたプラズマには渦が湧いていく（乱流）という性質があります。そのため、核融合発電の実現にはプラズマの乱流を抑制して閉じ込めを良くすることが求められます。プラズマ中の乱流をもたらす要因は、「磁場の構造」と「乱流」です。プラズマは多数のイオンと電子で構成されていますが、それらの粒子が衝突することで生じる乱流があります。この乱流はプラズマ中で渦を巻き起こすことで乱流が起きます。それにより、乱流による乱流が起きます。この乱流はプラズマ中の熱を逃がすことで、プラズマの温度を下げます。乱流は大小様々な渦を伴った流れで、磁場で閉じ込めた高温のプラズマ中にはほとんど常に乱流が発生しています。そして、その乱流によってプラズマが吹き飛ばれることで閉じ込めが難しくなります。この乱流抑制について、実験だけでなくスーパーコンピュータを用いたシミュレーションによる研究が世界中で進められていますが、最近ではかなり進歩しています。乱流抑制の新たな可能性を示すものから、高度な計測手法を用いてプラズマの状態を詳細に計測することが、核融合発電の実現に向けた重要な課題となっています。



図2 衝突磁場（左）と乱流磁場（右）のイメージ。衝突磁場は、粒子の衝突によって運動が変化することで起こります。乱流磁場は、粒子が乱流（渦のような流れ）の影響を受け、磁場構造へと運動することで起こります。

研究成果

核融合科学研究所(NIFS)の増嶋高教授らの国際共同研究グループは、NIFSの大型ヘリカル装置(LHD)とドイツのマックス・ブランク、プラズマ物理研究所(PPPL)のフェリックス・ワグナー(W-X)装置(W7-X)との詳細な比較実験を世界で初めて実行し、プラズマを閉じ込める磁場の構造が乱流の抑制に重要な影響を及ぼすことを明らかにしました。LHDとW7-Xでは、プラズマを閉じ込めるための磁場の外部に配置したコイルによって生成します。これはヘリカルステラータ構造⁽⁴⁾と呼ばれ、LHDとW7-Xはこの方式の世界最大装置です。1998年に実験を開始したLHDは高温プラズマの安定維持を目指して設計され、衝突磁場⁽⁵⁾については、コイルに流す電流を逆にすることで実現されています。一方、2015年に実験を開始したW7-Xは衝突磁場を抑制するためにコイルの形状が設計された。両装置はプラズマの構造はほぼ等しいですが、コイル形状が大きく異なります(図2)。いずれの装置も磁場の構造が乱流抑制への影響は分かっていたものの、乱流抑制への影響は十分に理解できていませんでした。

今回、国際研究グループは、LHDとW7-Xでプラズマの加熱(ワー)をそろえた実験を行いました。これにより、プラズマの構造、密度、温度、電流はほぼ等しく、磁場構造だけが大きく異なるという条件での比較実験が世界で初めて実現しました。この実験の結果、衝突磁場は従来の予想どおりW7-Xの方が一回り良いものの、乱流抑制はLHDの方がかなり良い結果が出たことが明らかになりました。さらに、NIFSの「プラズマ・エネルギー・制御」部門の「ナノコンピュータ」を用いて、実験と同時並行でシミュレーションを行いました。実験と同様のシミュレーションでLHDの方が乱流抑制が優れており、磁場構造が乱流の抑制に大きな影響を及ぼすことが明らかになりました。

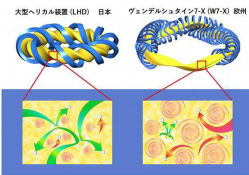


図3 LHD（日本）とW7-X（欧州）を合わせたF-F型を有するプラズマ磁場を閉じ込めて、プラズマの構造はほぼ等しく、磁場構造だけが大きく異なるという条件での比較実験が世界で初めて実現しました。この実験の結果、衝突磁場は従来の予想どおりW7-Xの方が一回り良いものの、乱流抑制はLHDの方がかなり良い結果が出たことが明らかになりました。さらに、NIFSの「プラズマ・エネルギー・制御」部門の「ナノコンピュータ」を用いて、実験と同時並行でシミュレーションを行いました。実験と同様のシミュレーションでLHDの方が乱流抑制が優れており、磁場構造が乱流の抑制に大きな影響を及ぼすことが明らかになりました。

<https://www.nifs.ac.jp/news/researches/220117.html>

<https://www.nifs.ac.jp/news/researches/211105.html>

⇒国際共同研究の成果が、ネイチャーフィジックス誌やフィジカルレビューレターズ誌など著名な雑誌に掲載されました。また、岐阜新聞や科学新聞等でも紹介されました。

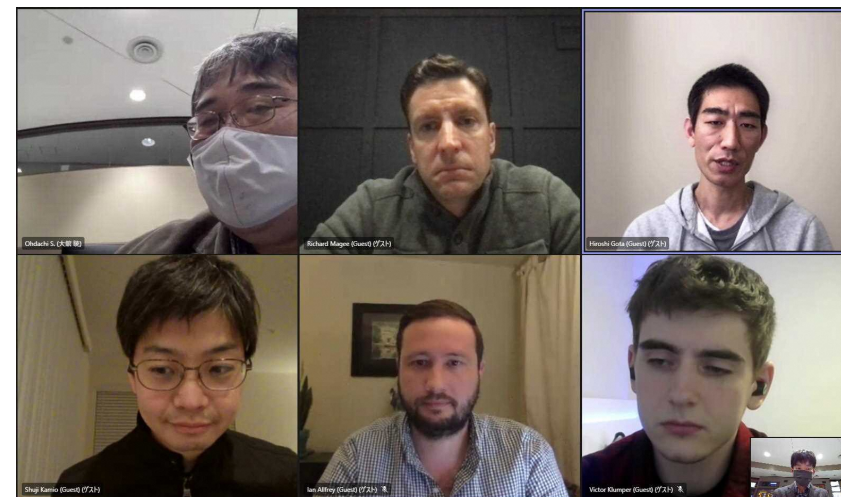


2021年度のLHDプラズマ実験について



2021年度のLHDプラズマ実験

- ・10月14日: 重水素実験開始
- ・1月21日: 重水素実験終了
- ・2月17日: プラズマ実験終了
(安全管理計画に基づいて実験を実施し、安全に終了)
- ・実験日数: 61日
- ・プラズマ生成回数: 約9,300回



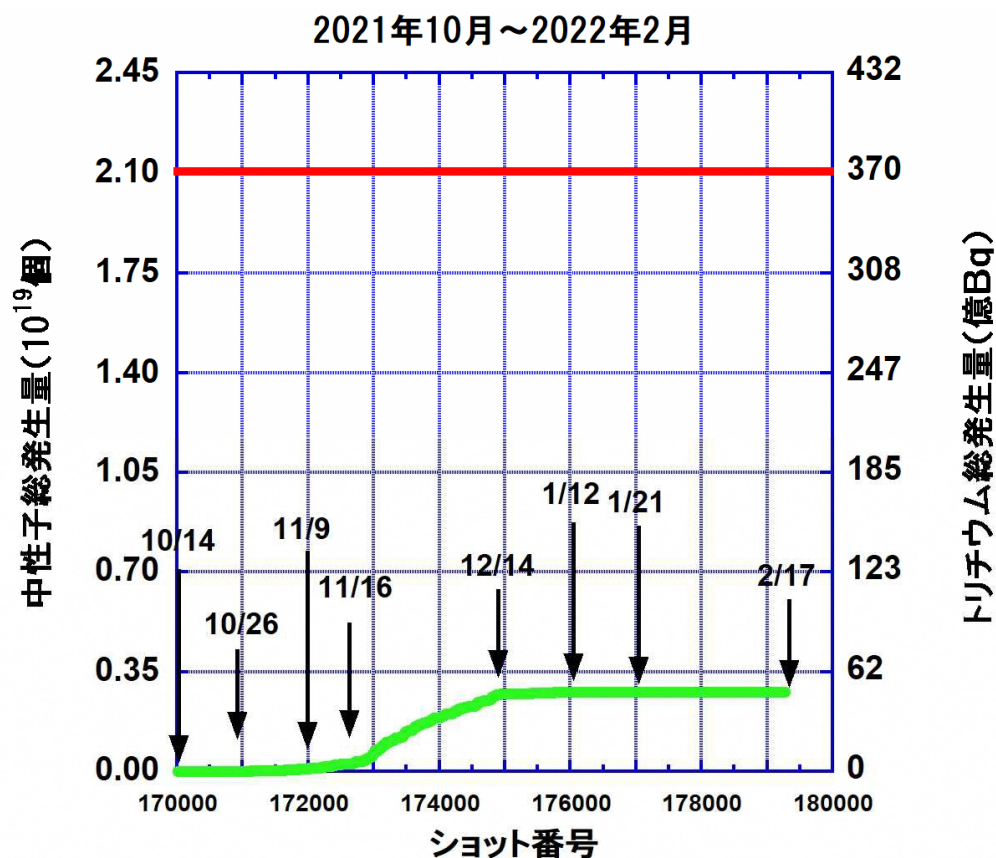
遠隔会議アプリを利用した米国・TAEテクノロジーズ社との遠隔共同実験の様子

今後の予定

メンテナンス、改造期間を経て2022年度のLHDプラズマ実験は、2022年10月上旬に開始予定



2021年度のLHDプラズマ実験における 中性子及びトリチウムの発生量(速報値)



- 10月14日 重水素ガスを用いた実験開始
 - ・NBI加熱装置(接線入射3台):軽水素(H)
 - ・NBI加熱装置(垂直入射2台):軽水素(H)
 - ・プラズマ:D
- 10月26日 NBI加熱装置(垂直入射2台):
HからDに変更
- 11月 9日 NBI加熱装置(接線入射2台):
HからDに変更
- 11月16日 NBI加熱装置(接線入射1台):
HからDに変更
- 12月14日 NBI加熱装置(接線入射3台):
DからHに変更
- 1月12日 NBI加熱装置(垂直入射2台):
DからHに変更
- 1月21日 重水素ガスを用いた実験終了
以降、軽水素にてプラズマ実験実施
- 2月17日 第23サイクルプラズマ実験終了

研究所年間管理値

中性子発生量: 2.1×10^{19} 個
トリチウム発生量: 370億ベクレル

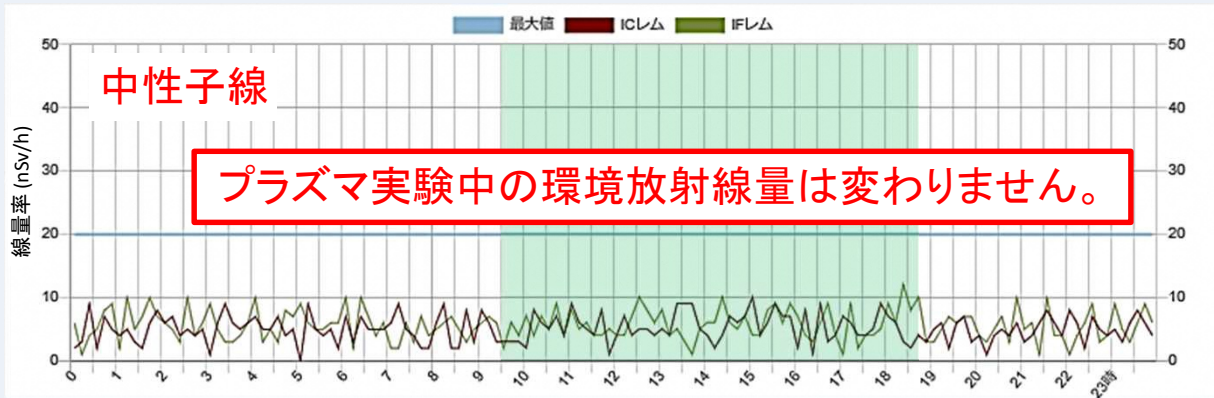
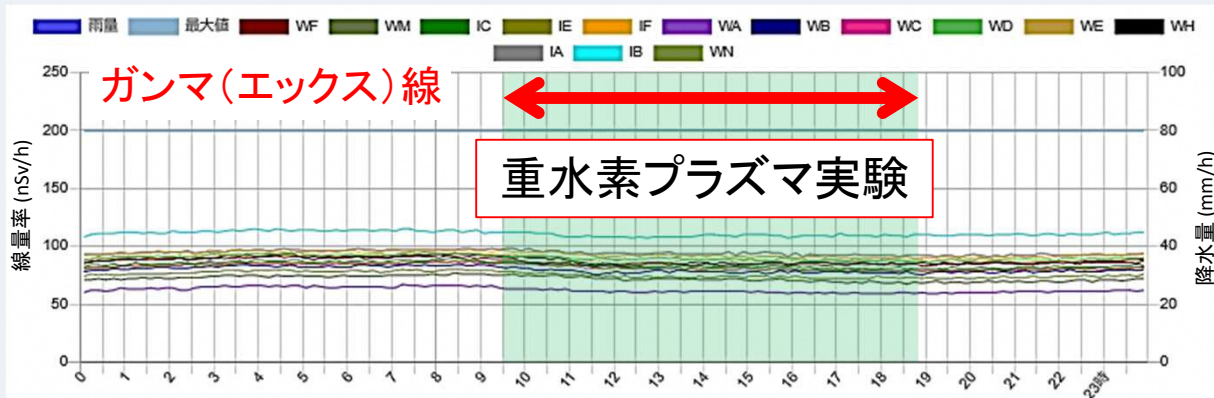
2021年度のLHDプラズマ実験期間中の中性子及びトリチウムの
総発生量は、研究所年間管理値の13.2%(速報値)でした。

実験期間中の環境放射線量などの状況について

- ・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。

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)

2021年11月17日



RMSAFEモニタリングポスト

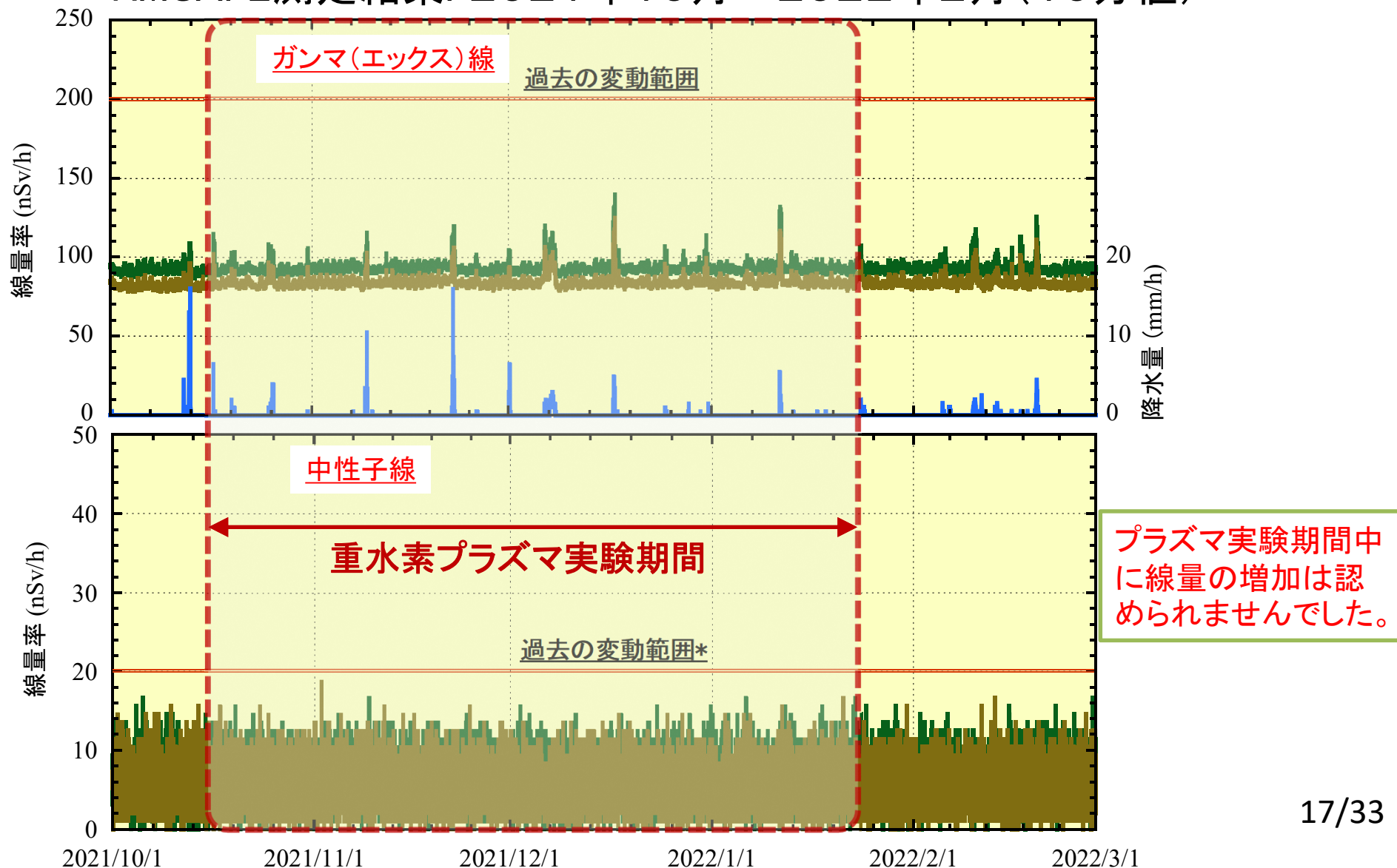


プラズマ実験を実施した時間帯で線量の増加は認められませんでした。



RMSAFEによる環境放射線量の監視結果

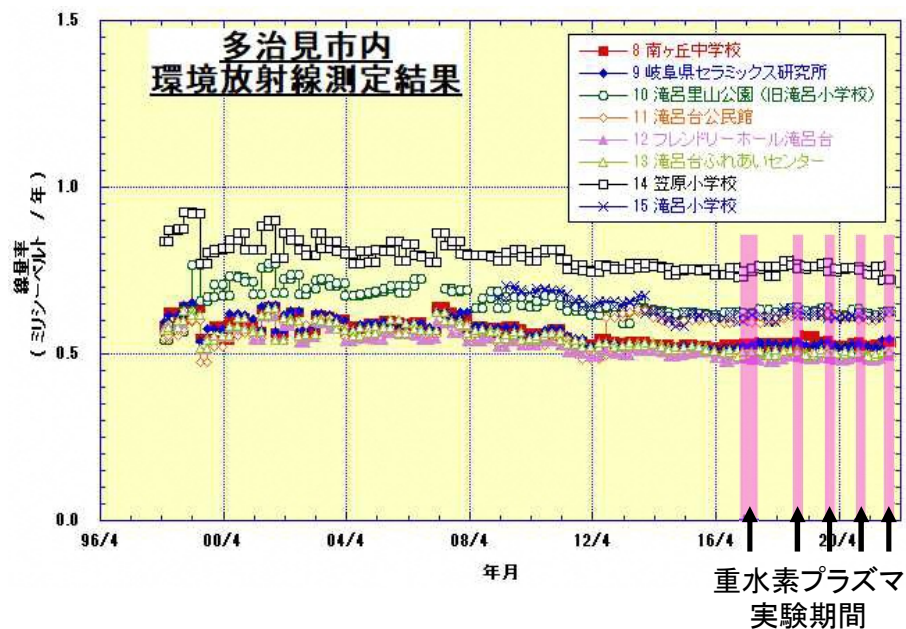
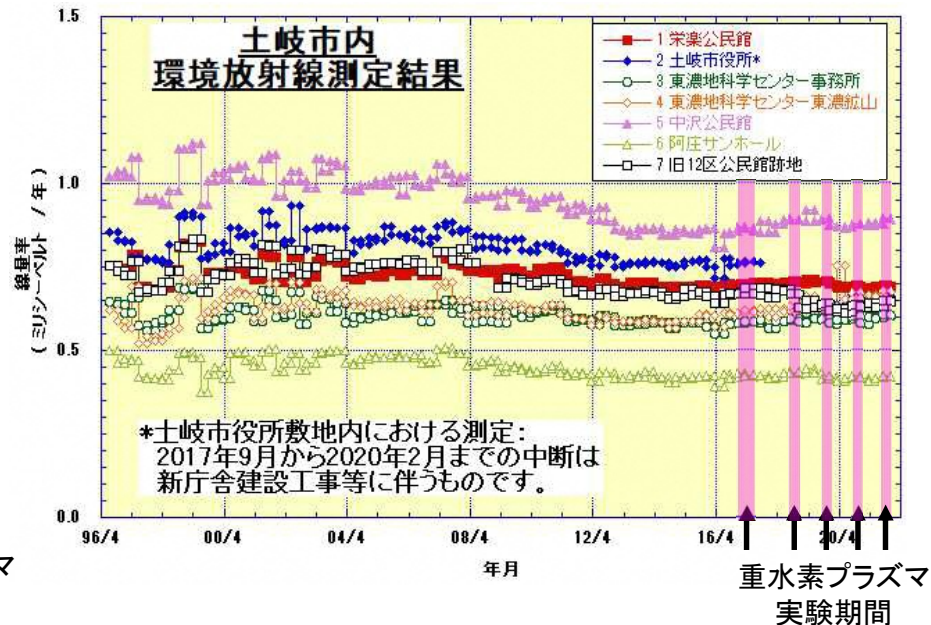
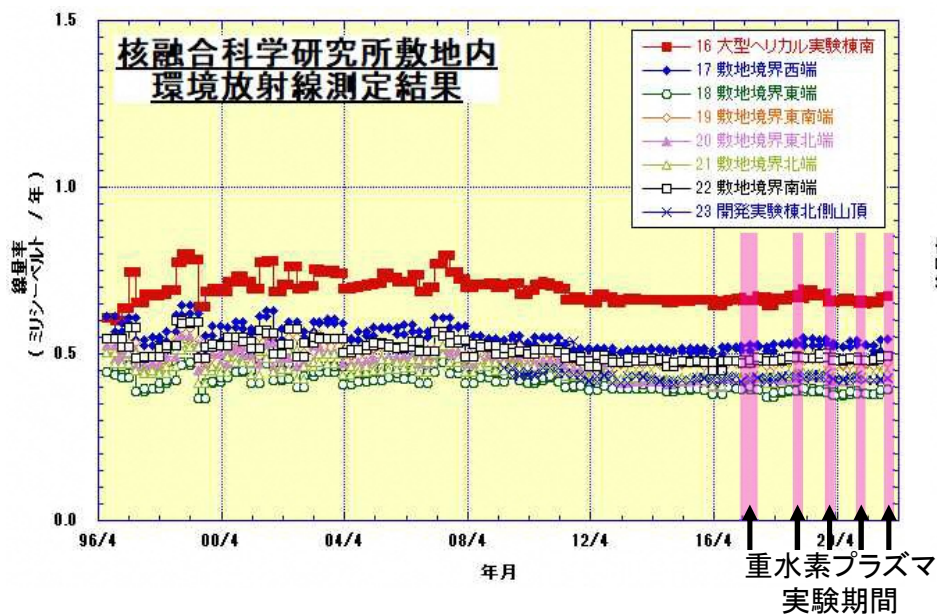
RMSAFE測定結果: 2021年10月～2022年2月(10分値)



*2014年～2016年までの変動範囲: 0 ~ 19 nSv/h(ナノシーベルト毎時)、1ナノシーベルト=0.001マイクロシーベルト、1,000ナノシーベルト=1マイクロシーベルト



研究所、土岐市及び多治見市における環境放射線量の監視結果

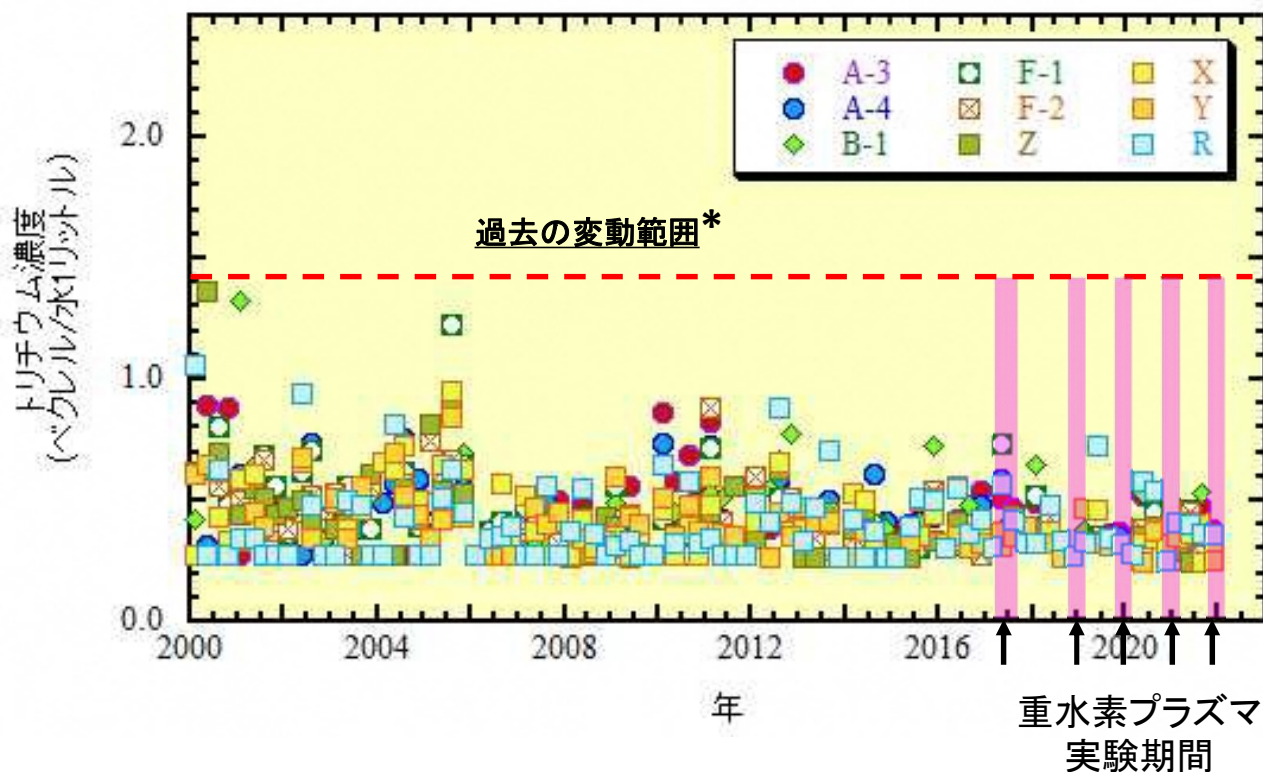


*土岐市役所敷地内における測定: 2017年9月から2020年2月までの間は新庁舎建設工事等に伴い中断しています。

研究所敷地内、土岐市内及び多治見市内における環境放射線量(ガンマ線)には、重水素実験に起因する上昇傾向は認められませんでした。



A-3	妻木川(窯の洞川)	R	雨水
A-4	妻木川(窯の洞川)	X	調整池
B-1	土岐川	Y	水道水
F-1	生田川	Z	滝壺跡
F-2	生田川		



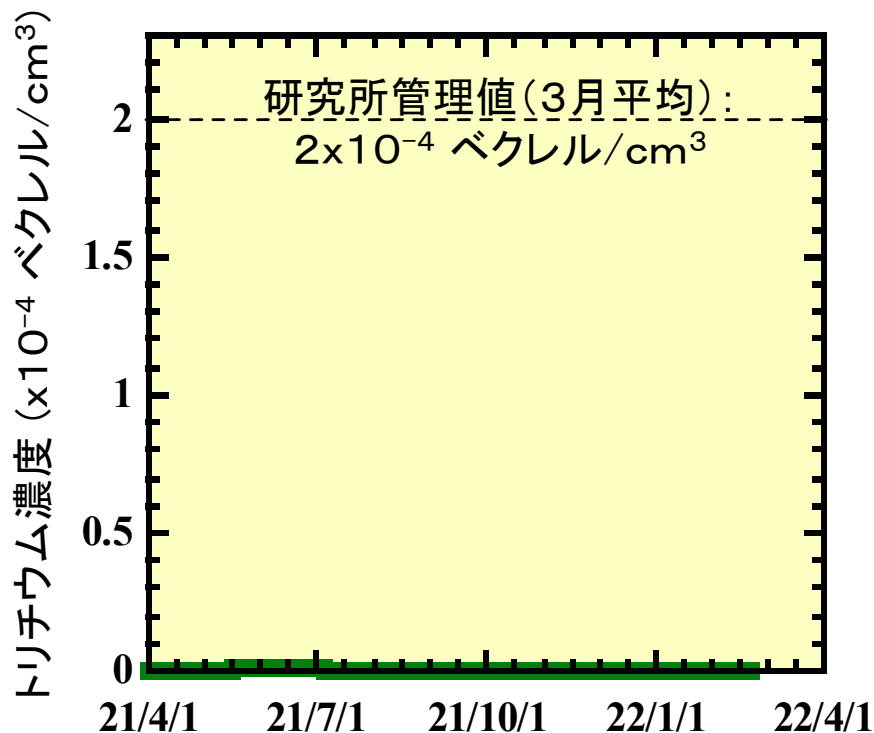
重水素実験開始以降の環境水中トリチウム濃度は、過去の変動範囲内でした。

(*2000年～2016年までの変動範囲: 検出下限値以下 ~1.4 ベクレル/リットル)

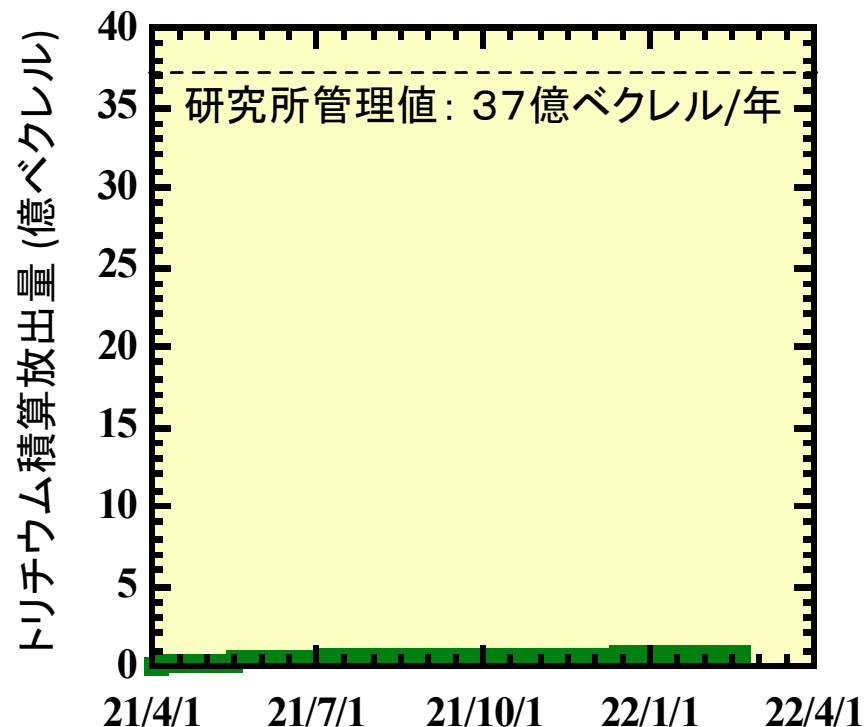


排気塔における監視結果

排気塔トリチウム濃度
法令値(3月平均): 5×10^{-3} ベクレル/cm³



排気塔からのトリチウム積算放出量
(2021年4月～2022年3月)



- ・排気塔から放出されたガス中のトリチウム濃度は、最大でも研究所管理値の230分の1未満でした。
- ・排気塔から放出されたアルゴン41の濃度についても、研究所管理値を大きく下回る値でした。



トリチウムの回収、トリチウム含有水の保留及び引渡し

重水素実験開始に伴って、LHD真空容器からの排気ガス中に微量に含まれるトリチウムをトリチウム除去装置(排気ガス処理システム)により、軽水素や重水素と併せて水の状態にして回収、保留しています。



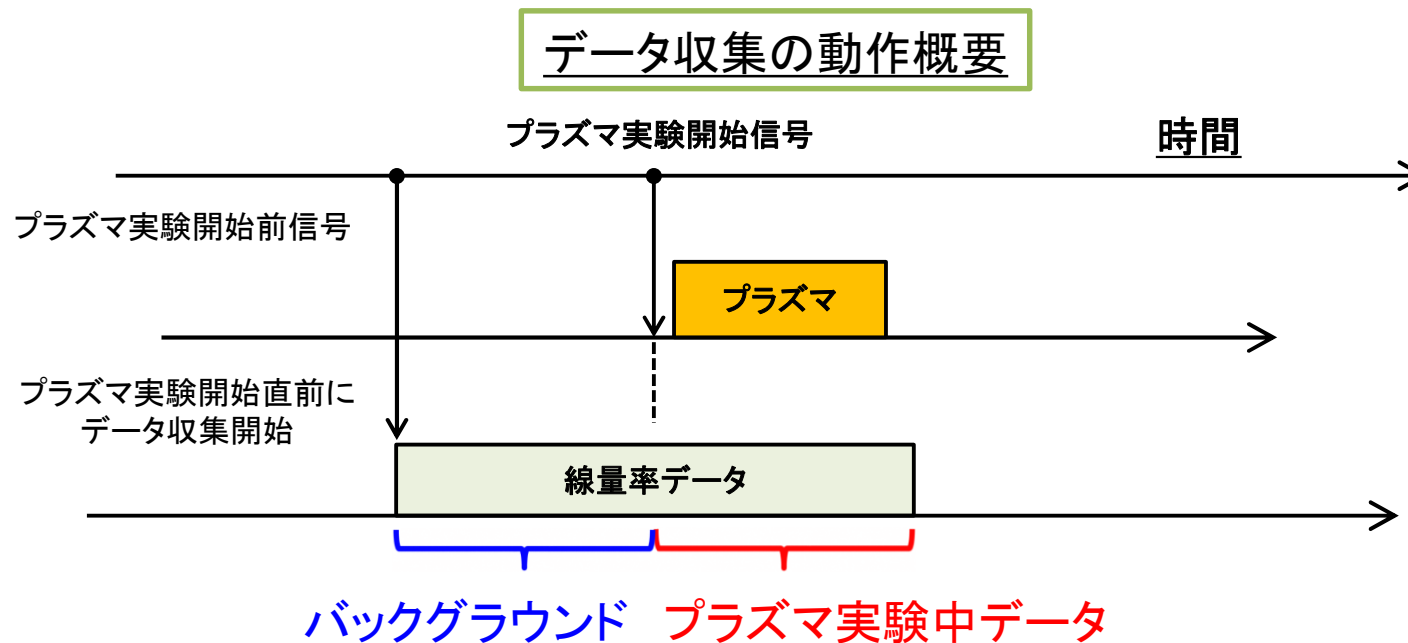
排気ガス処理システム

- ・回収等したトリチウム含有水について、2021年度は925リットルを9月1日に公益社団法人日本アイソトープ協会に引き渡しました。
- ・2月28日時点で約1,424リットル(うち、機器の運転に必要な水として約1,000リットル)を保留しています。



RMSAFEによる敷地境界線量の監視結果

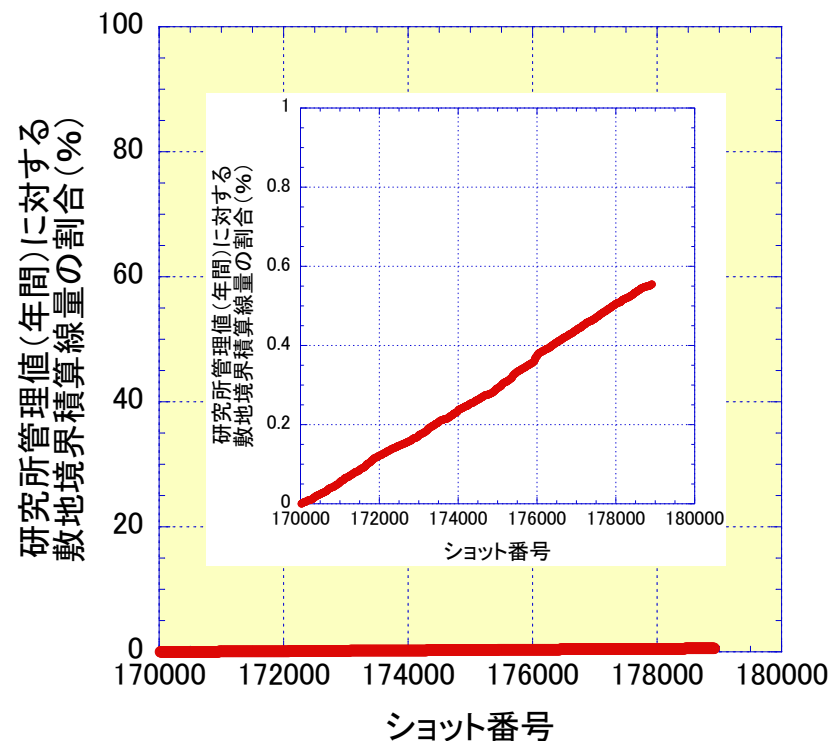
安全監視委員会での議論に基づいて、LHDプラズマ実験に同期してRMSAFEデータを取得



- バックグラウンドのデータをLHDプラズマ実験開始前から取得します。バックグラウンド線量率を評価し、プラズマ実験中のデータから差し引きます。
- 速報値では安全側の評価をするために、バックグラウンドを差し引いて、負の値となったものはゼロとして積算します。

第5年次の重水素実験における 敷地境界線量(速報値)

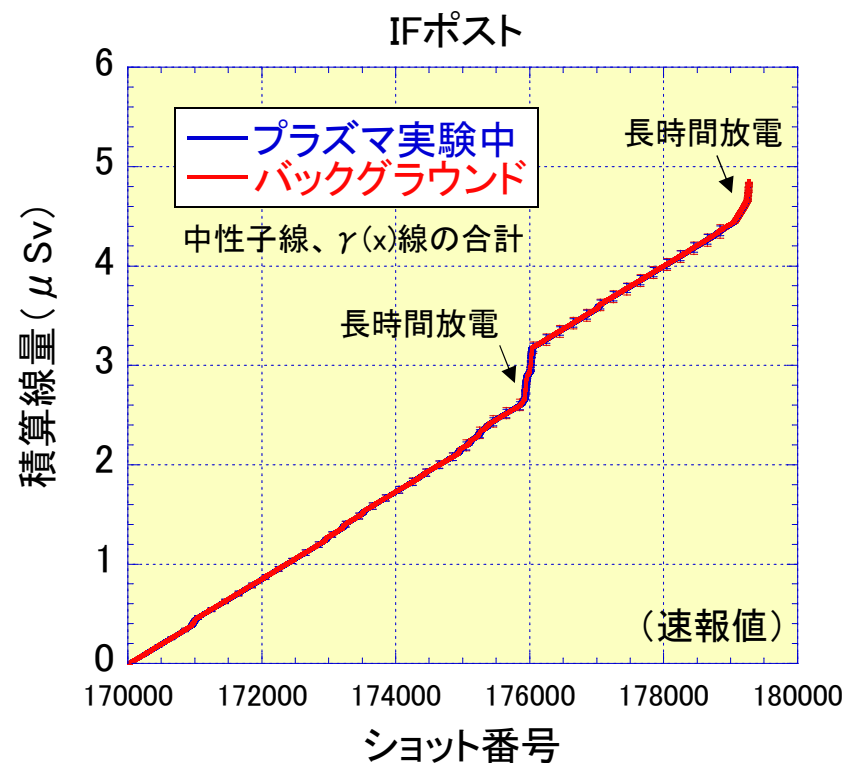
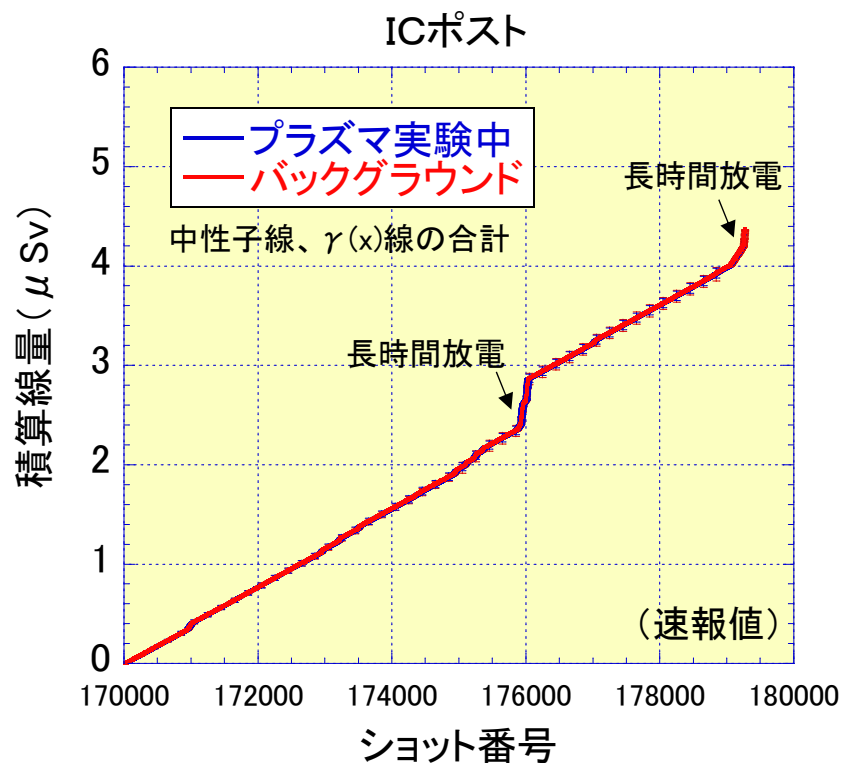
2021年10月14日～2022年2月17日



中性子線、 $\gamma(x)$ 線の合計

- ・図の速報値においては、LHDプラズマ実験中の値から、バックグラウンドを差し引いて、負の値となったものはゼロとして積算しているため、安全側で評価した値となっています。
- ・確定値では、バックグラウンドの影響を適切に評価するために、バックグラウンドを正確に差し引いて積算します。

< 参考資料 >



- ・RMSAFEのICポスト、IFポスト共に、LHDプラズマ実験中の線量とバックグラウンド線量との間に有意な差は認められませんでした。



研究所管理値に対する発生量等のまとめ

重水素実験情報公開ページ

速報値

第23サイクルLHDプラズマ実験は2022年2月17日に終了いたしました。

中性子総発生量

中性子総発生量：研究所管理値；年間 2.1×10^{19} 個
本実験計画期間中の発生量：管理値の**13.2%**

2022年2月17日 現在
(積算期間:2021年10月14日～2022年2月17日)

トリチウム総発生量

トリチウム総発生量：研究所管理値；年間37GBq
本実験計画期間中の発生量：管理値の**13.2%**

2022年2月17日 現在
(積算期間:2021年10月14日～2022年2月17日)

敷地境界線量

敷地境界線量（中性子線、 $\gamma(x)$ 線の合計）：研究所管理値；年間50 μ Sv
本実験計画期間中の積算線量：管理値の**0.6%**

2022年2月17日 現在
(積算期間:2021年10月14日～2022年2月17日)

排気中トリチウム濃度

排気中トリチウム濃度：研究所管理値（3月平均）； 2×10^{-4} Bq/cm³
トリチウム濃度：管理値の**0.0%**

2022年2月21日 現在
(積算期間:2021年12月27日～2022年2月21日)

精密な測定のため、排気中トリチウム濃度については2週間程度の期間を要します

研究所管理値を大きく下回る

空調ドレン水の排水に係る状況

重水素実験期間中における大型ヘリカル実験棟空調ドレン水の排水状況					
排水日	排水量 (m ³)	測定結果			
		測定日		β線測定 液体シンチレーション 計数装置	γ線測定 オートウェル ガンマシステム
		1回目	2回目		
10月14日	5	10月4日	10月5日	0.0025	ND
10月25日	8	10月14日	10月18日	0.0055	ND
11月2日	6	10月25日	10月26日	0.0019	ND
11月11日	5	11月2日	11月2日	ND	ND
11月22日	5	11月11日	11月15日	ND	ND
12月2日	5	11月22日	11月25日	ND	ND
12月10日	5	12月3日	12月6日	ND	ND
12月23日	4	12月13日	12月14日	ND	ND
12月23日	3	12月20日	12月20日	0.0021	ND
1月14日	6	1月4日	1月5日	ND	ND
1月24日	6	1月17日	1月17日	ND	ND
総排水量	58		検出下限値	0.0017~0.0020 (ベクレル/cm ³)	~12 (cpm)
					(ND: 検出下限値以下)

研究所管理値:
トリチウム濃度(3月平均値)
0.6ベクレル/cm³



貯留槽



排水モニタ



液体シンチレーション計数装置



オートウェルガンマシステム

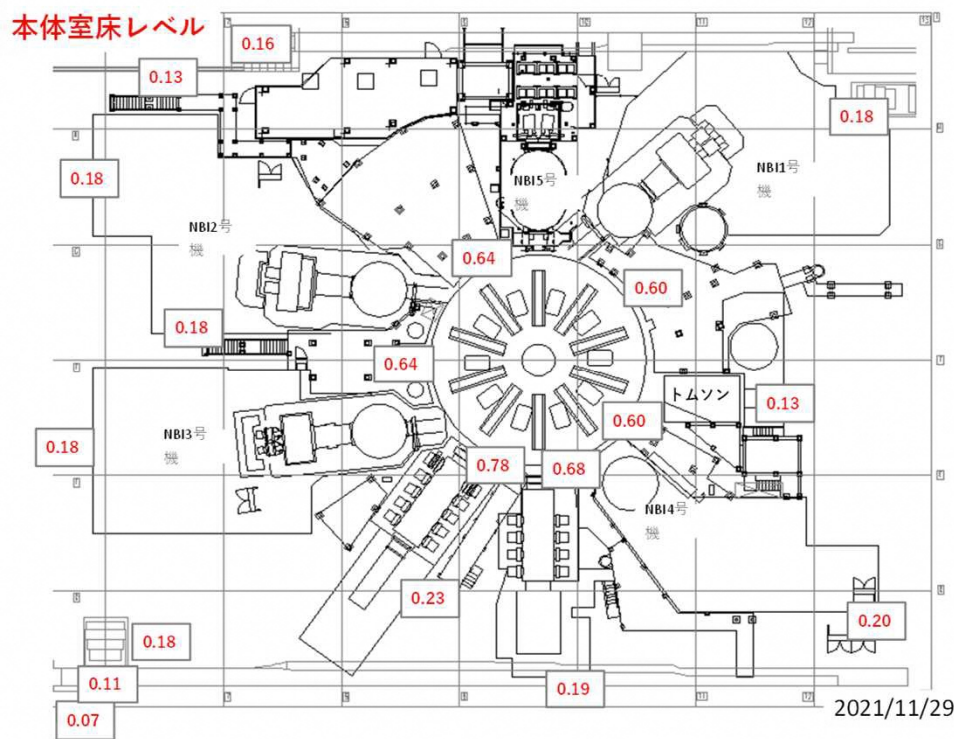


本体室・本体室地下へ立入る者の線量管理

メンテナンス作業等の前に本体室・本体室地下の線量測定を行い、立入る者の実効線量が20マイクロシーベルトを超えないように管理しています。これまでに個人線量計に有意な線量は確認されていません。

作業前本体室・本体室地下線量測定結果 (2021/11/29)

単位: $\mu\text{Sv/h}$





重水素実験を進めるにあたって

重水素実験を進めるにあたって

以下を遵守します。

1. 関係法令(RI規制法等)
2. 核融合科学研究所周辺環境の保全等に関する協定書及び同覚書
3. 大型ヘリカル装置における重水素実験の安全管理計画

併せて、岐阜県・3市が設置する「核融合科学研究所安全監視委員会」が行う周辺環境の保全に必要な監視・測定等に最大限協力します。

災害緊急時に備えて

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等を監視しています。
3. 土岐市南消防署の参加を得て、研究所全員で防災訓練を実施しています。
※2021年度は、9月下旬に実施予定でしたが、新型コロナウイルス感染拡大を受けた岐阜県の緊急事態宣言延長により中止としました。
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。
(2021年10月15日)
※ 昨年度に引き続き、自衛消防隊を分散して集合させる等の新型コロナウイルス感染症対策を徹底して行いました。
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。(2021年11月5日)
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。



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員



LHD消火訓練の実施

LHD消火訓練(実験関係者が参加)

- ・重水素実験期間中に、本体室内実験用装置から火災が発生した想定で毎年度実施(2021年10月15日)
- ・土岐市南消防署の協力を得て、自衛消防隊地区隊本部の立ち上げ、実験責任者(地区隊長又地区隊長代理)の指示に基づく、危機管理指揮本部との連携、地元自治体等関係機関への通報、装置停止等の非常時の措置、緊急時の管理区域立入手続きの確認、及び地区隊現場対応班による初期消火等の訓練を実施

※ 昨年度に引き続き、自衛消防隊を分散して集合させる等の新型コロナウイルス感染症対策を徹底して行いました。



訓練終了後、土岐市南消防署の講評を聞く参加者

※ 防災訓練(全所員が参加)

2021年度は、9月下旬に実施予定でしたが、新型コロナウイルス感染拡大を受けた岐阜県の緊急事態宣言延長により中止としました。



安全対策と情報公開

実験運転開始前の機器の保守点検を細心の注意を払って確実に実行します。
併せて以下の安全対策や情報公開に努めます。

1. 安全講習会の実施

今年度は、新型コロナウイルス感染症対策により、5月13日にオンラインにて講習会を実施し、以降、ウェブ視聴又はDVD貸出しによる個別講習会として実施しました。

2. 新型コロナウイルス感染症対策として、保守点検等作業時の新型コロナウイルス感染予防対策マニュアル等を整備し、適切な運用に努めています。

3. 朝礼、実験前打ち合わせ、現場でのツールボックスミーティング、安全管理者巡視を徹底しています。

4. 万が一の事故に備えて、マニュアルを整備し、事故への対応、地元自治体への通報等の訓練として、次のとおり毎年実施しています。①研究所全体の防災訓練※、②LHD実験期間中の消火訓練(10/15) ③緊急地震速報訓練(11/5) [()は今年度の実施日]

※①2021年度は、9月下旬に実施予定でしたが、新型コロナウイルス感染拡大を受けた岐阜県の緊急事態宣言延長により中止としました。

5. 放射線関連データについて

①放射線測定の速報値をホームページで公開しています。
確定値については年報としてホームページで公表しています。

②環境放射線量等についても、ホームページで公開しています。

6. LHDプラズマ実験期間の進行状況については、ホームページで公開しています。

2021年6月

LHD重水素実験放射線管理年報
(2020年4月1日～2021年3月31日)

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 重水素実験推進本部

7. 実験期間中は運転監視体制を強化して不測の事態に備えています。

LHD重水素実験放射線管理年報



核融合研究、重水素実験等について市民の方々にご説明

○毎年夏に市民説明会を開催(2006年度から)

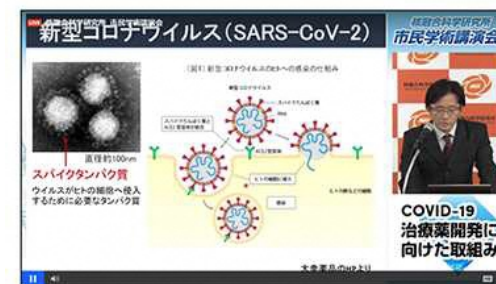
- ・重水素実験の実施状況と安全性、研究計画について説明
(これまでに延べ5,761名)
- ・2020年度:3市合計7会場137名(土岐市2会場54名、多治見市4会場59名、瑞浪市1会場24名)
- ・2021年度 ※新型コロナウイルス感染拡大を受けた岐阜県の緊急事態宣言延長により中止としたため、説明会で予定していた内容をQ&A形式でまとめ、ホームページに掲載



市民説明会の様子(2020年度)

○市民学術講演会の開催(多治見市、土岐市)

- ・科学技術一般に関する講演、核融合研究の進展などの講演
- ※2020、2021年度:新型コロナウイルスの影響により、オンラインで開催



市民学術講演会
(ライブ配信画面)

○研究所オープンキャンパスの開催(例年2,000名程度)

- ・重水素実験質問コーナーを設けて、重水素実験についても丁寧に説明
- ※2020、2021年度:新型コロナウイルスの影響により、オンラインで開催

○随時の見学受付(2019年度約3,000名、2020年度約640名)

- ・研究所スタッフがLHDに関連する施設を案内

○広報誌の発行など

- ・研究所の活動を分かりやすく紹介した「ヘリカちゃんからのおたより」(旧プラズマくんだより)の季刊発行(近隣地区への新聞折込み)など
- ・研究所公式YouTubeチャンネルによる研究所紹介ビデオや研究紹介動画などの公開



オープンキャンパス
2021ポスター



ヘリカちゃんからの
おたより



YouTubeチャンネルで公開の
研究所紹介ビデオ



2022年度のLHDプラズマ実験スケジュール(予定)

月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
管理区域設定	放射線発生装置使用のための管理区域(通年)												
メンテナンス期間	メンテナンス												
装置の 運転状態							LHD真空排気						
						コイル冷却準備	励磁試験					コイル昇温	
						←コイル冷却	プラズマ実験						

- ・メンテナンス：2月中旬～9月上旬
- ・LHD真空容器真空引き：8月中旬～3月中旬
- ・コイル冷却：9月上旬～3月上旬
- ・プラズマ実験：10月上旬～2月上旬
 - 重水素ガスを用いた実験(重水素実験)：10月上旬～1月上旬
 - 軽水素ガスを用いた実験(軽水素実験)
 - ✓最後の1ヶ月程度は軽水素ガスを用いた実験を実施して、壁に付着したトリチウムを軽水素に置換。



今後の予定について

LHD重水素実験は、2013年3月に岐阜県・地元3市と「周辺環境の保全等に関する協定書」等を締結後、その準備を進め2017年3月に開始することができました。重水素実験の実施により、定常運転性能に優れるヘリカル型装置において世界で初となるイオン温度1億2,000万度を達成し、そのようなプラズマを活用した同位体効果の解明等の様々な研究成果を上げてきております。

このような数々の成果を上げてきましたLHDプロジェクトは、2013年度より国の大規模学術フロンティア促進事業の支援のもと実施されておりますが、同事業により予算措置される期間は最大で10年と決められていることから、大規模学術フロンティア促進事業としてのLHDプロジェクトは2022年度に終了することになりました。

同プロジェクト終了後については、LHDを引き続き、核融合研究の学術基盤として使用することを検討・協議しているところです。また、LHDは「放射性同位元素等の規制に関する法律(RI規制法)」に基づく放射線発生装置ではなくなり、新たな中性子やトリチウムの発生はありませんが、同法に基づく管理区域は引き続き設定し、適切な管理を継続していきます。

2023年度以降は、これまでの研究成果を踏まえ、その知見を最大限に活用し、ヘリカル装置以外の知見も含めた核融合科学の体系化と核融合の未解明な課題に学術的に取り組み、核融合の早期実現を目指します。また、このような活動を通じ、核融合のみならず、広く科学技術及び社会に貢献していく所存です。これは、LHDに限らず核融合科学研究所全体の方針となっております。