



資料4
重水素実験安全評価委員会(第22回)
令和4年6月3日

The background image shows the interior of a large, complex helical device (LHD) with a metallic, segmented structure. A blue semi-transparent banner is overlaid on the image, containing the title text.

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

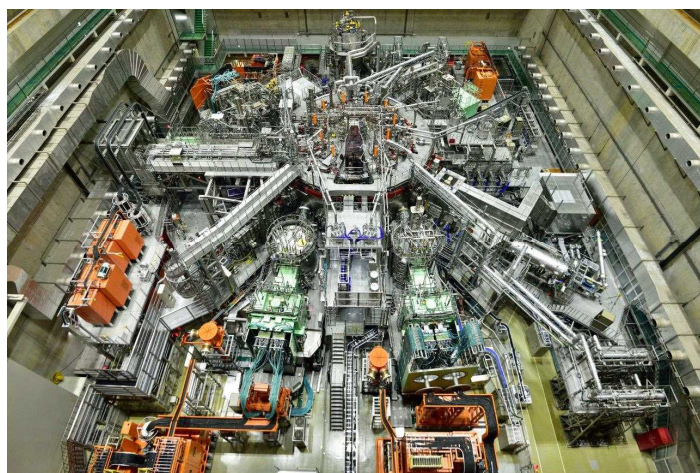
大学共同利用機関法人

自然科学研究機構 核融合科学研究所

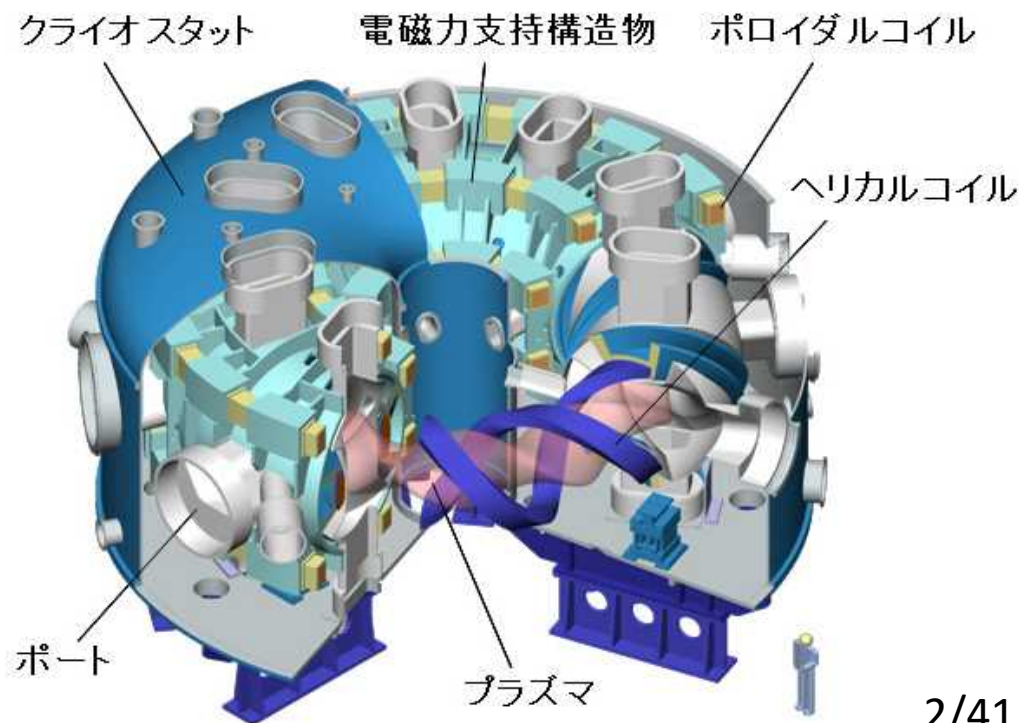
1/41

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。



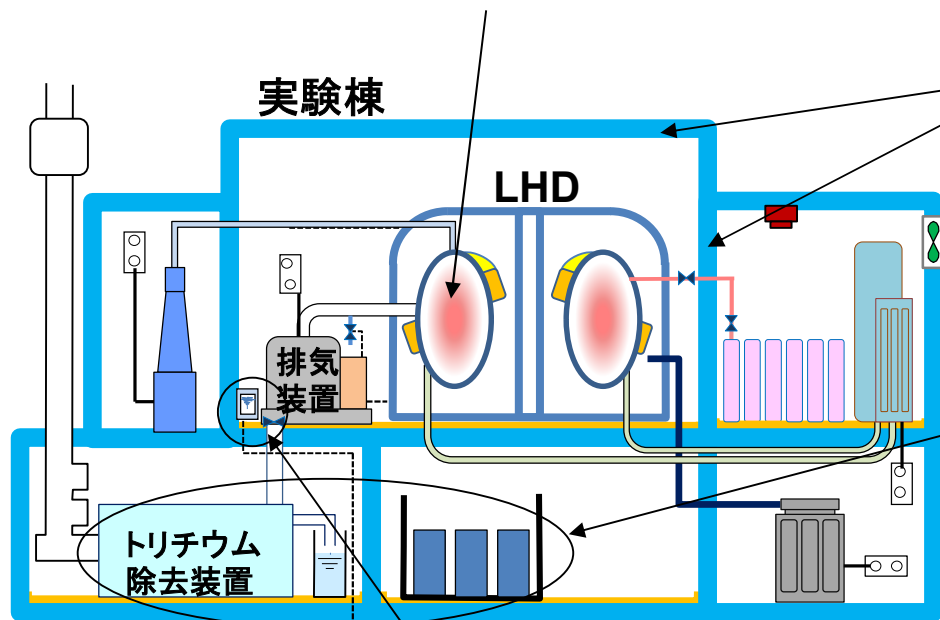
- ・世界最大級の超伝導核融合プラズマ実験装置
装置の高さ：約9メートル
装置の直径：約13メートル
装置の重量：約1500トン
- ・1998年4月 LHD実験開始
- ・2017年3月 LHD重水素実験開始





LHD重水素実験における安全管理

プラズマがついている時だけ、真空容器の中で中性子とトリチウムが発生



中性子

1回に最大で 5.7×10^{16} 個 発生

⇒本体室のコンクリートの壁※で1千万分の1に減衰、遮蔽 ※ 2メートル厚(天井1.3メートル厚)

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)

⇒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

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、

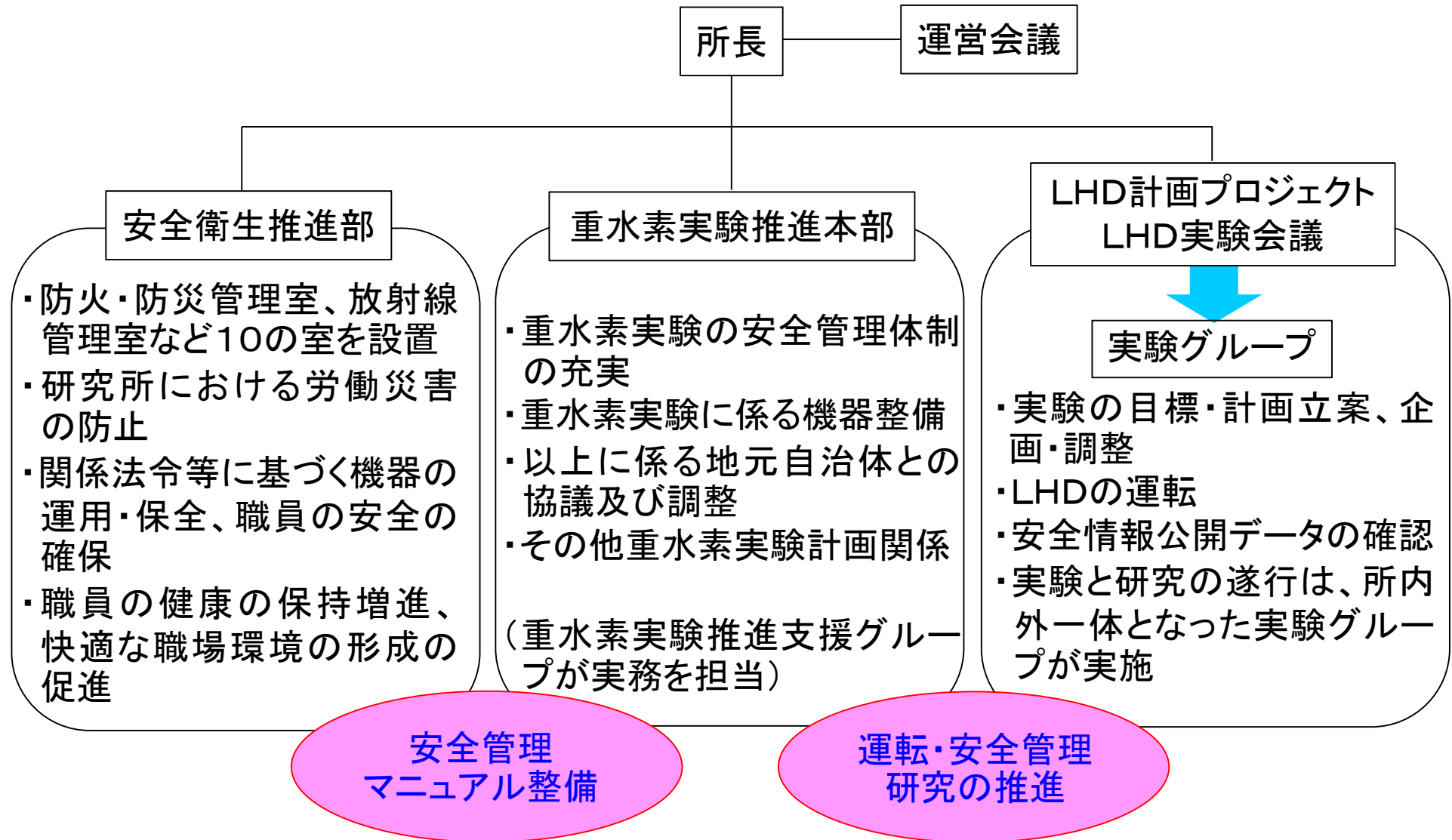
- ✓ 自然放射線の1,000分の1以下
- ✓ 体内のトリチウムの15分の1以下

と自然界のレベルよりもずっと少ない。

地震対応(電気が止まると、即座に消える)

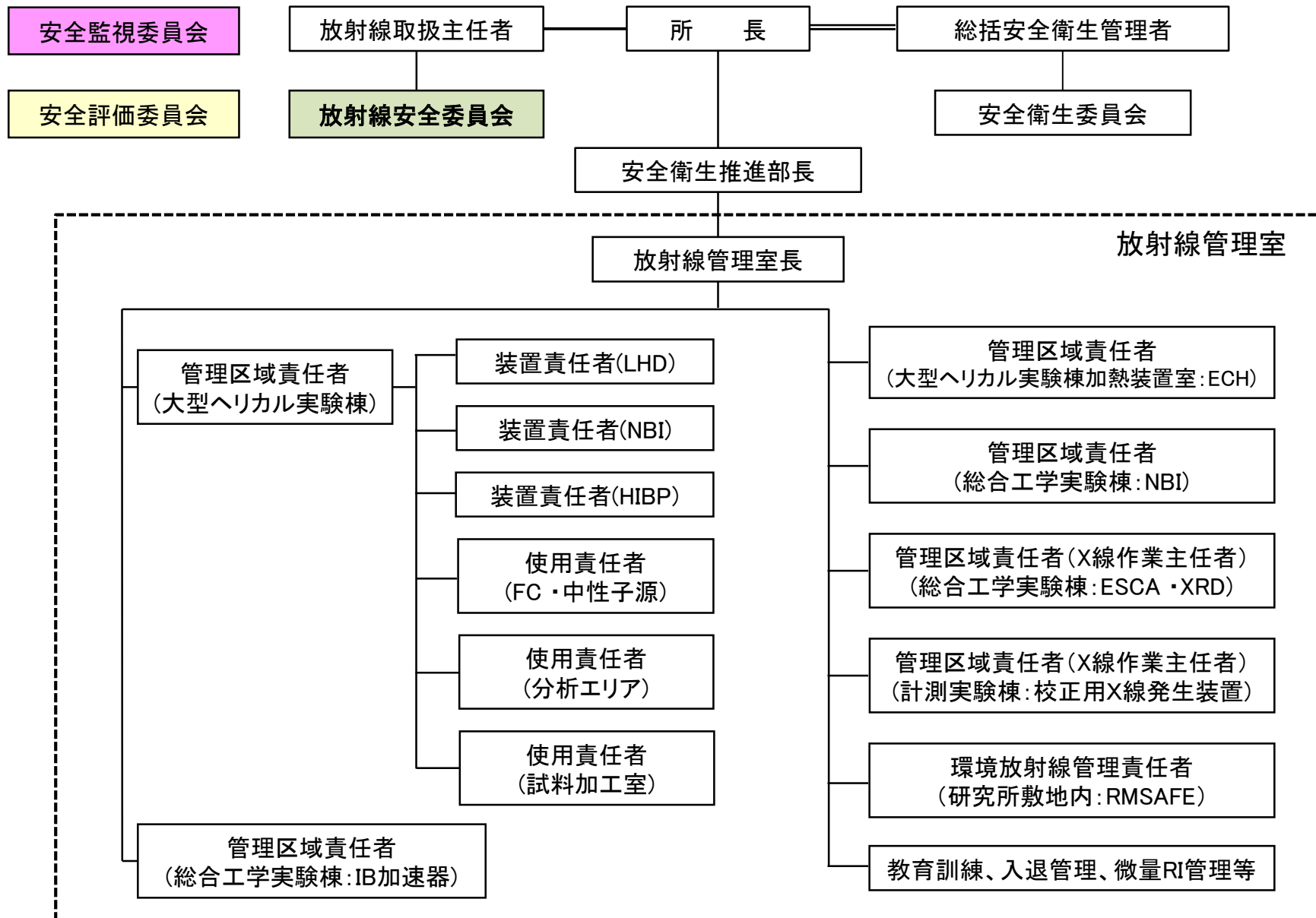
実験棟は震度6強でも倒壊しない、震度4で自動停止
緊急地震速報を受信すると自動停止

制御装置の改造: 1回、1回、プラズマの生成を手動で起動





放射線安全管理組織





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



2021年度における実験の実施結果 と2022年度の予定



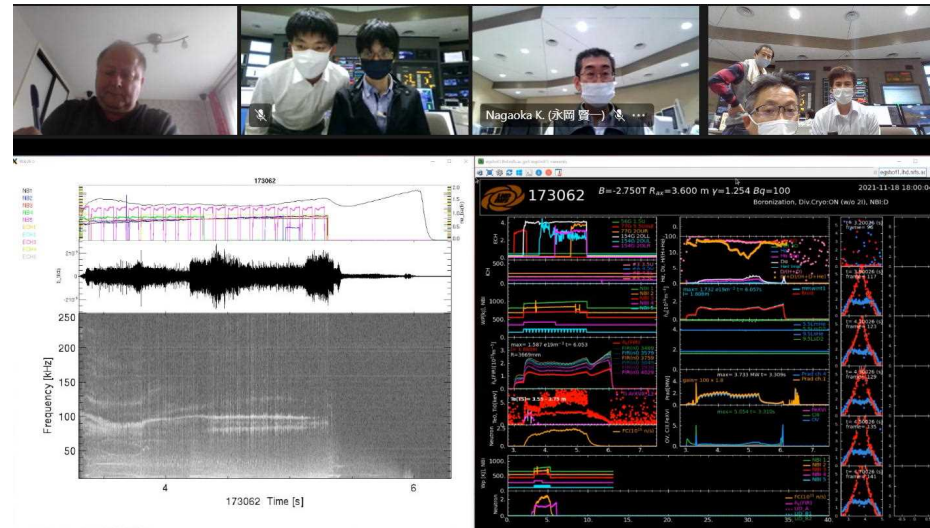
2021年度のLHDプラズマ実験の実施概要について

- ▶ 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ありました。
 - 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。**

2021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(第5年次の重水素実験)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ました。

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)の増嶋真貴教授らと米国・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と見られています。

この研究成果をまとめた論文が1月10日、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不純物などの不純物がプラズマに入ると、熱が逃げやすくなり、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、大小様々な大きさの渦を伴った流れ(乱流)が発生します。この乱流によってプラズマが冷えてしまったり、プラズマから熱が逃げやすくなり、プラズマの温度が下がります。プラズマを核融合に必要な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、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、壁からの不純物と関連する方法で抑制することが研究されていますが、これを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導入されています。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真貴教授らは、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。粉末がふりかけられる温度の上昇は、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。

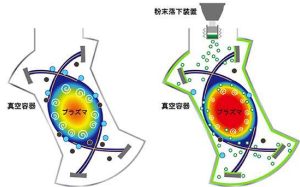


図1 LHDの断面図。青や灰色の●が真空容器の壁から発生した不純物、白の渦がプラズマ中の乱流を表す。(左)ホウ素粉末を落下させ、壁からの不純物が多く、プラズマ中の乱流が大きい。(右)ホウ素粉末落下後、緑の●がホウ素。容器の壁がホウ素でコーティングされ、壁からの不純物が減少している。また、プラズマ中の乱流が小さくなる。その結果、プラズマからの熱の逃げが小さくなり、プラズマの温度が高くなる。

研究成果の意義

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。今後の核融合炉では、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と見られています。

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がその熱を冷やしてしまうため、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)の増嶋真貴教授、佐藤真太郎教授、増嶋真貴教授、マックス・プランク・プラズマ物理研究所(ドイツ、グラフィッシュバート)のフェリックス・ワグネル博士、パロアルト州立大学の国際共同研究グループは、大型ヘリカル装置(LHD)^①とウェンデルシュタイン7-X装置(W7-X)^②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「磁場構造を持つ磁場の抑制を前提とした研究」にも大きく異なることを期待させます。

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努力を要する重要なエネルギー源の候補です。核融合発電を実現するには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必要があります。ところが、磁場で閉じ込めたプラズマは逃げやすい(「乱流」といって性質があります)。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原因は、「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によって発生します。この衝突がプラズマ中で起こる乱流の原因となり、乱流が起きます。乱流による乱流抑制は、乱流の構造によって異なります。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様々な種類の乱流が発生します。そして、その乱流によってプラズマが冷やれることで温度が下がります。この乱流抑制について、実験からシミュレーション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、最近ではシミュレーションでも、乱流抑制の重要性が明らかになりました。乱流抑制と衝突抑制が関連していることが、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1 衝突抑制(左)と乱流抑制(右)のイメージ。衝突抑制は、粒子の衝突によって運動が変化することで起こります。乱流抑制は、粒子が乱流(渦のような流れ)の束縛を受け、別方向へと移動することで起こります。

研究成果

核融合科学研究所(NIFS)の増嶋真貴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・プランク・プラズマ物理研究所(MPP)のウェンデルシュタイン7-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をプラズマの外側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^③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、衝突抑制については、コイルに流す電流を調整することで実現してきました。一方、2015年に実験を開始したW7-Xは衝突抑制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構造の衝突抑制への影響は分かっていたが、乱流抑制への影響は十分に理解していませんでした。

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)をそらし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、衝突抑制は従来のよりW7-Xの方が一回り小さい。乱流抑制はLHDの方が一回り小さい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加熱」実験「物理的」(FIRE)の「物理的」ハードウェアを用いて、実験と同時進行でシミュレーションを行いました。実験と同時進行でシミュレーションでLHDの方が乱流抑制が低減しており、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。

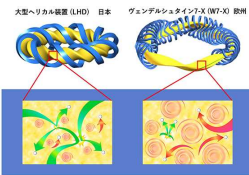


図2 LHD(日本)とW7-X(欧州)の磁場の形状を比較した図。LHDは乱流抑制が小さい。W7-Xは衝突抑制が小さいのが特徴です。W7-Xの構造はマックス・プランク・プラズマ物理研究所 提供。

<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。



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。



2021年度における放射線等の 管理状況等について



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)
2.1×10¹⁹ 個/年(37 GBq※)
- 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 μSv/年(法令値の20分の1)

○排気

- トリチウム放出量 3.7 GBq/年
- トリチウム濃度(3月平均値) 2×10⁻⁴ Bq/cm³ (法令値の25分の1)
- アルゴン41濃度(3月平均値) 5×10⁻⁴ Bq/cm³ (法令値)

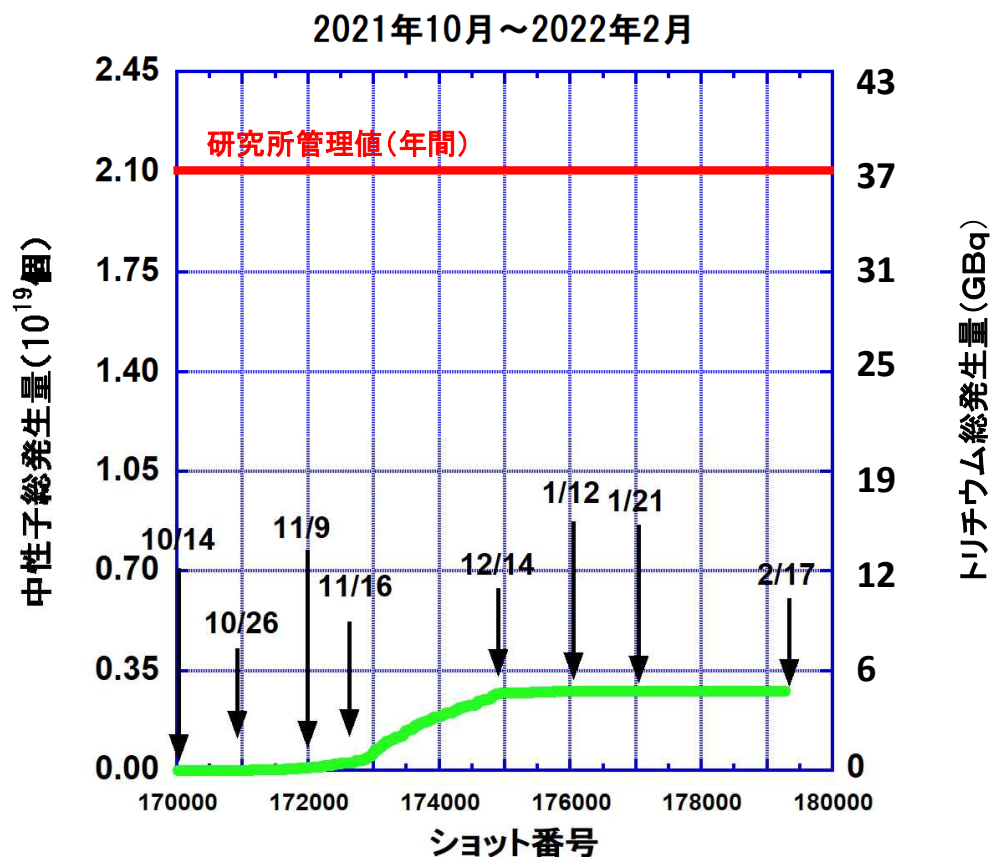
○排水

- トリチウム濃度(3月平均値) 0.6 Bq/cm³ (法令値の100分の1)

※ 1 GBq(ギガベクレル)=10 億Bq(ベクレル)



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



- 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: 37 GBq

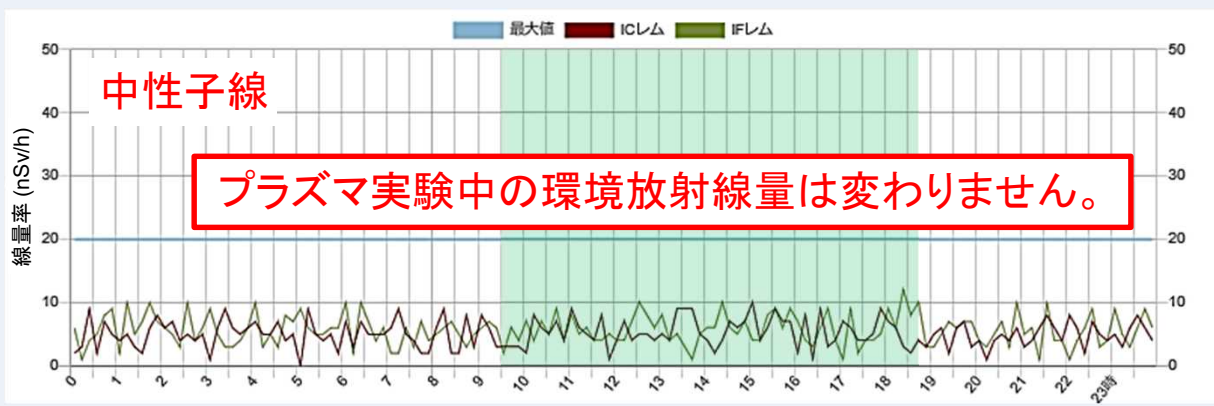
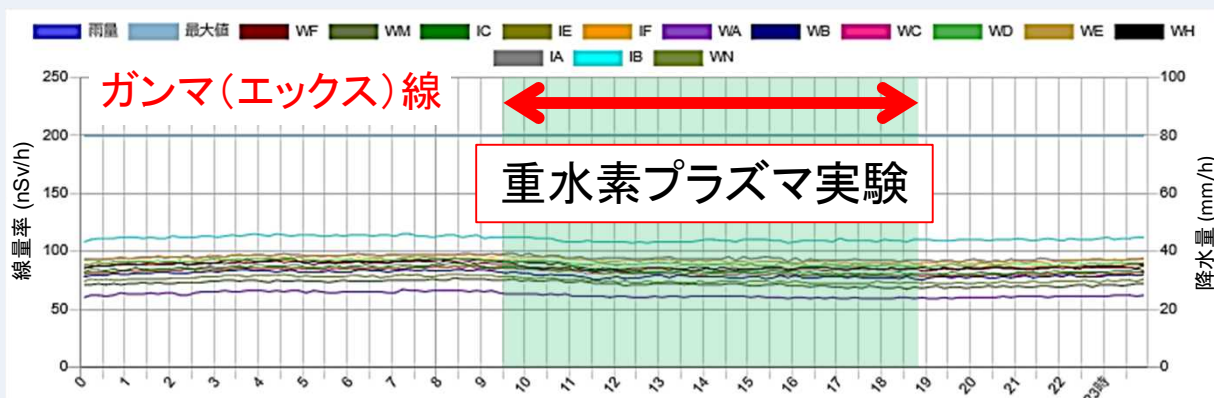
2021年度のLHDプラズマ実験期間中の中性子及びトリチウムの総発生量は、研究所年間管理値の13%でした。

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

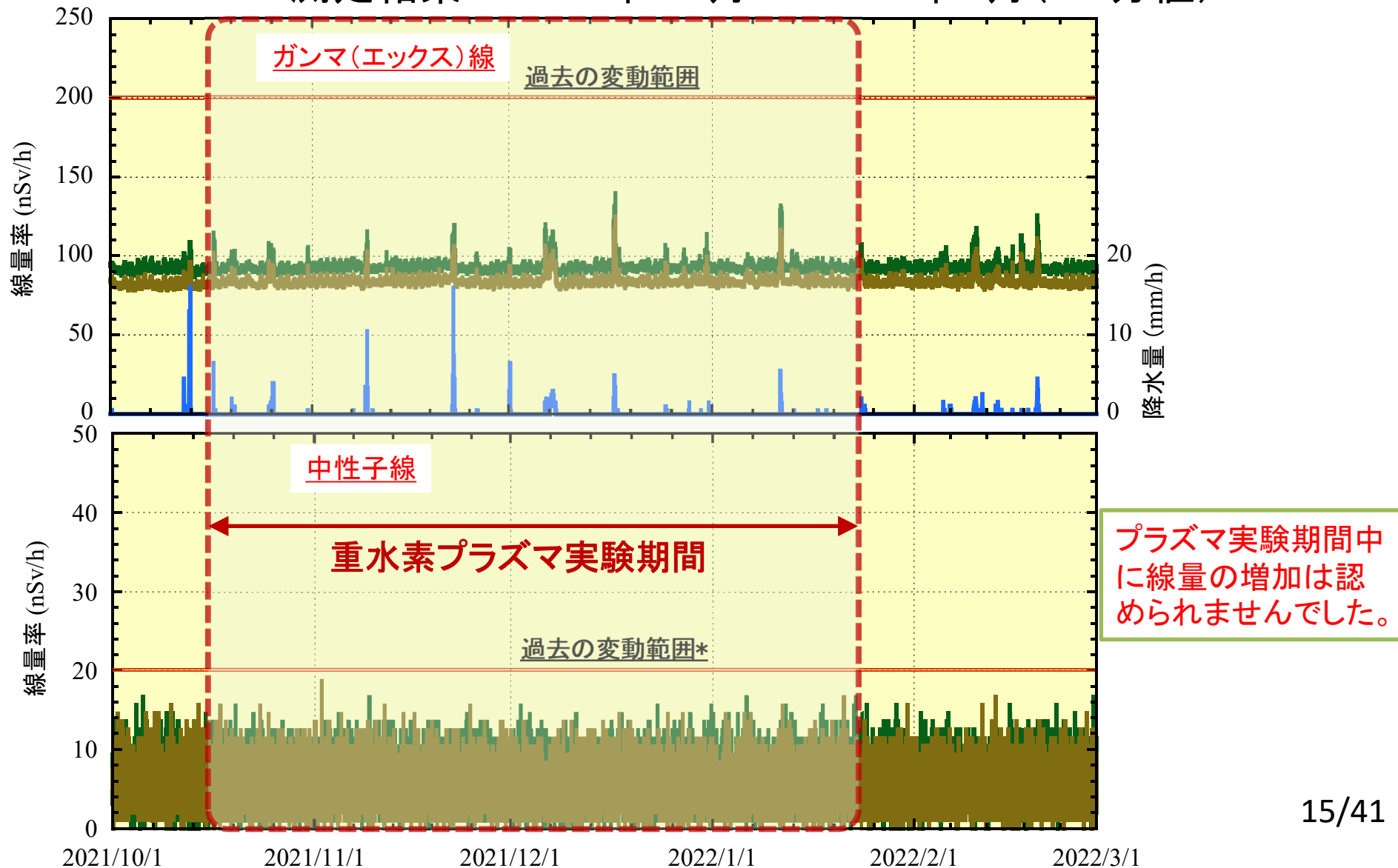


プラズマ実験を実施した時間帯で線量の増加は認められませんでした。



RMSAFEによる環境放射線量の監視結果

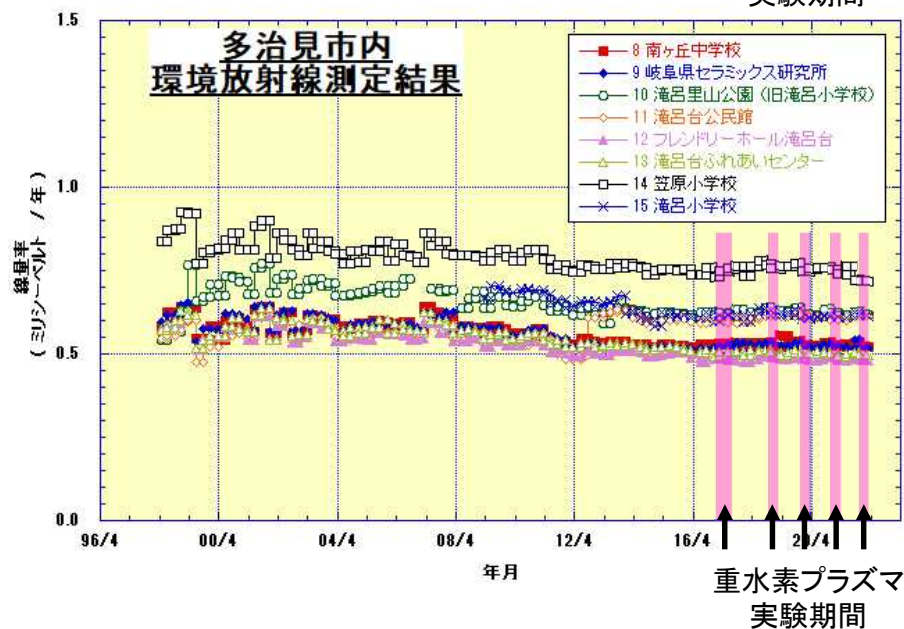
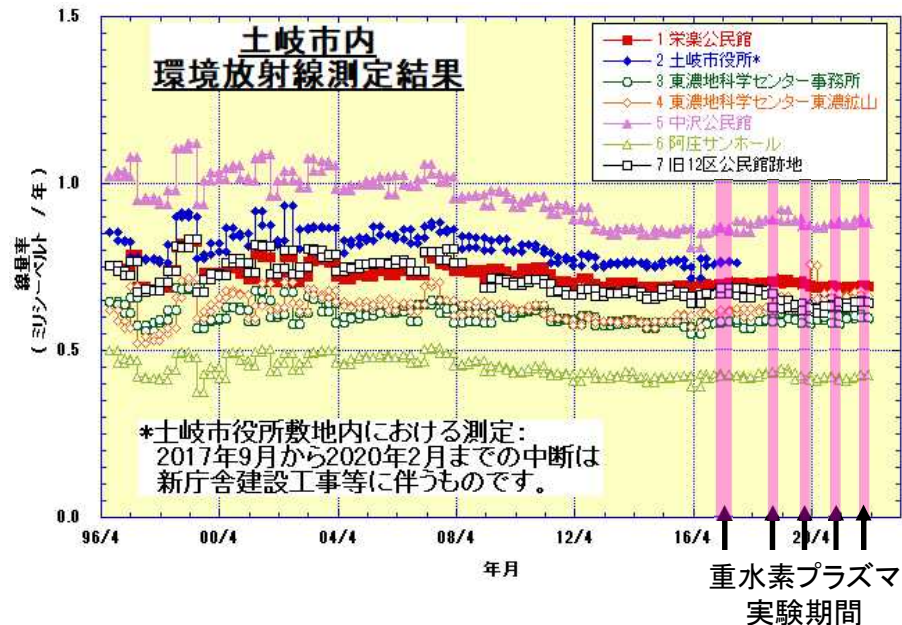
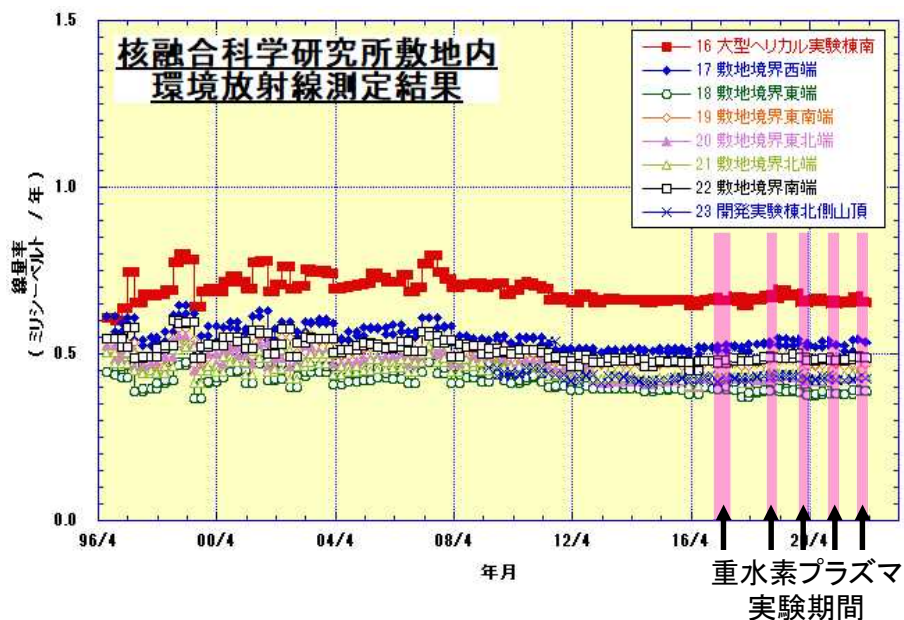
RMSAFE測定結果: 2021年10月～2022年2月(10分値)



*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 nSv=0.001 μ Sv(マイクロシーベルト)、1,000 nSv=1 μ Sv

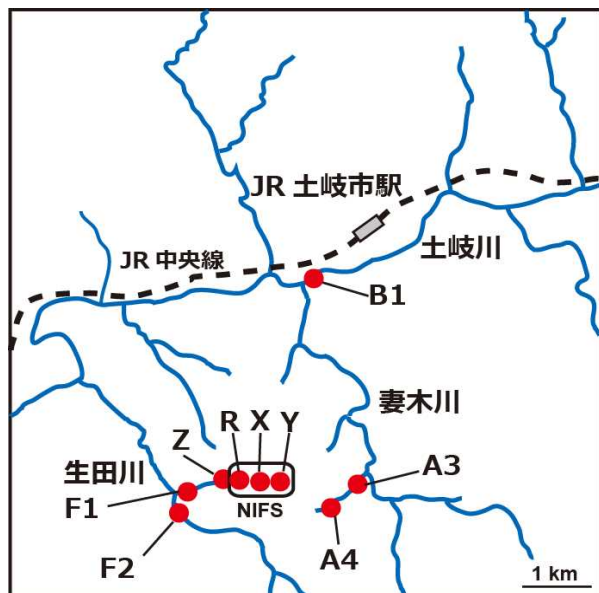


研究所、土岐市及び多治見市における環境放射線量の監視結果

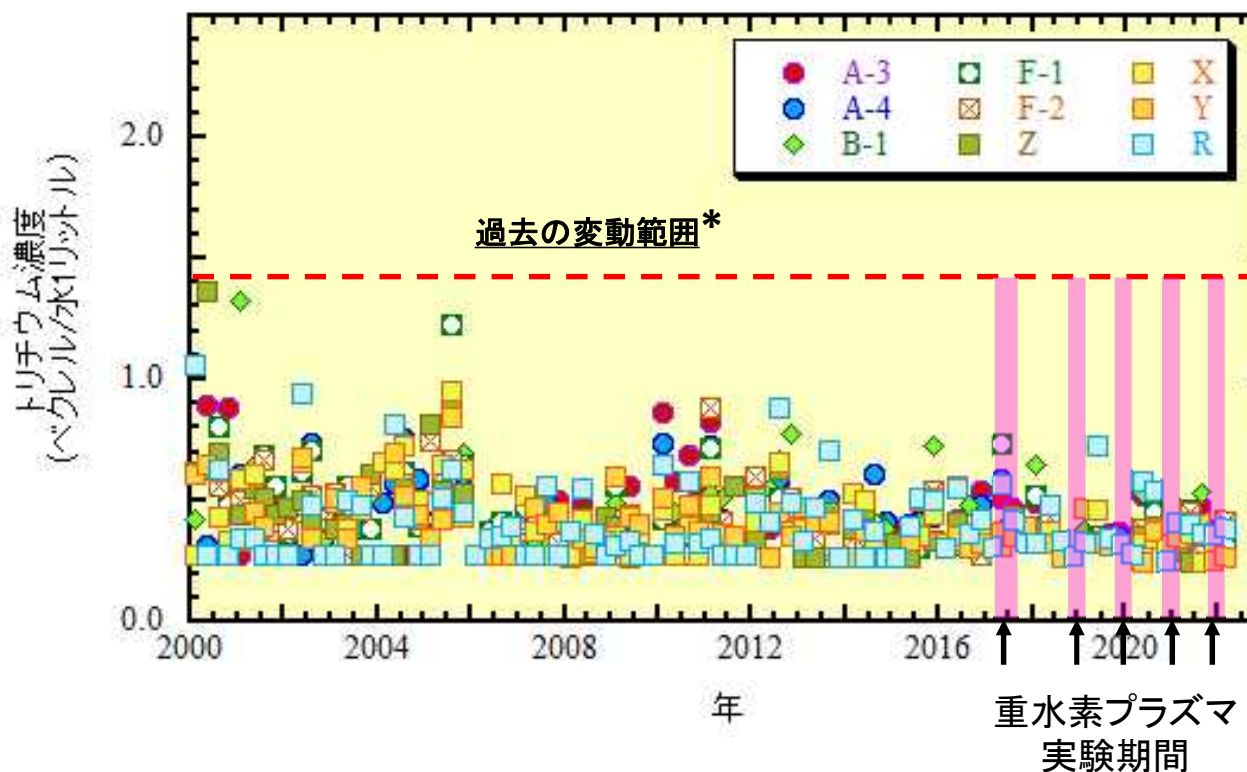


*土岐市役所敷地内における測定: 2017年9月から2020年2月までの間は新庁舎建設工事等に伴い中断しています。

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		

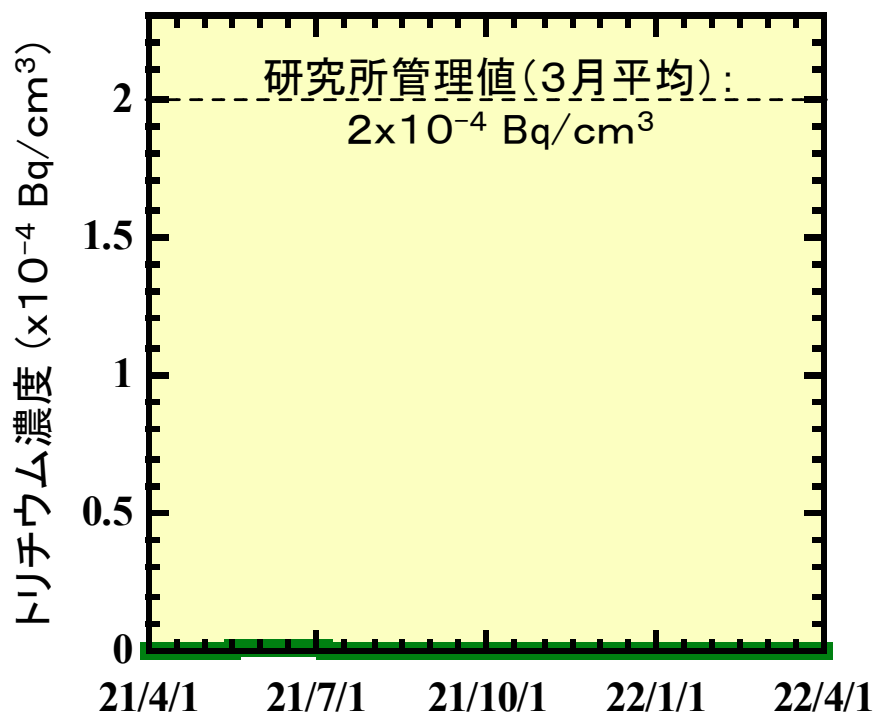


重水素実験開始以降の環境水中トリチウム濃度は、過去の変動範囲内でした。

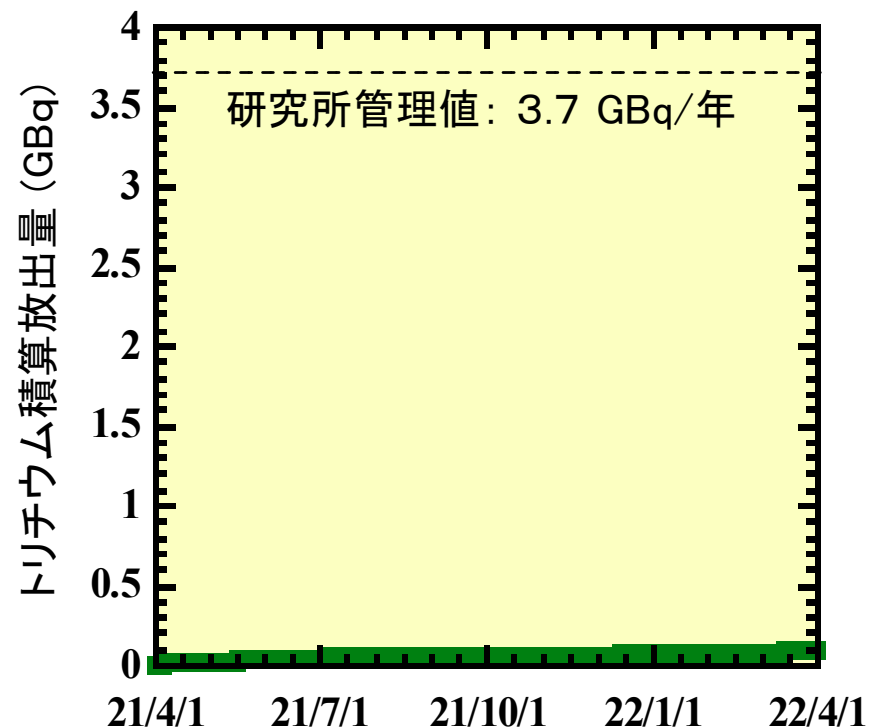
(*2000年~2016年までの変動範囲:検出下限値以下 ~1.4 Bq/l)

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} Bq/cm³

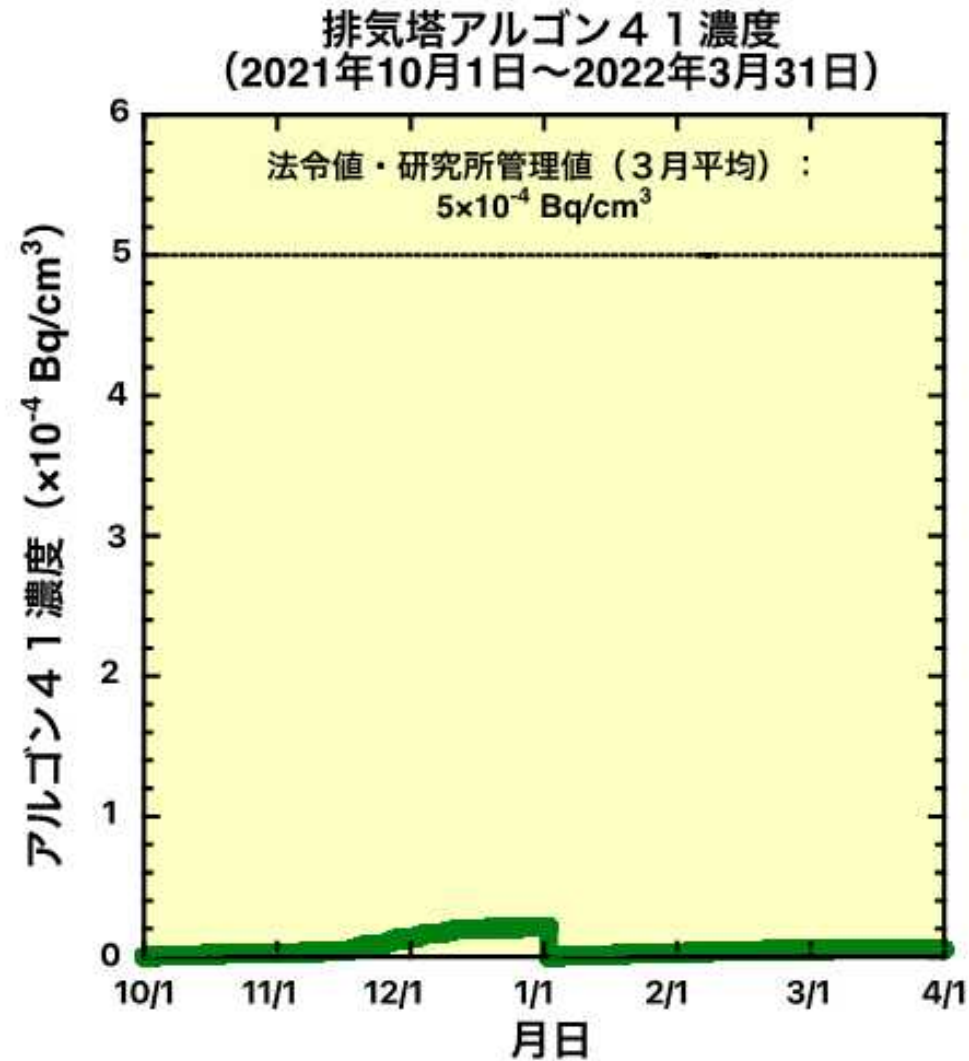


排気塔からのトリチウム積算放出量
 (2021年4月~2022年3月)



- ・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。

排気塔における監視結果



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。



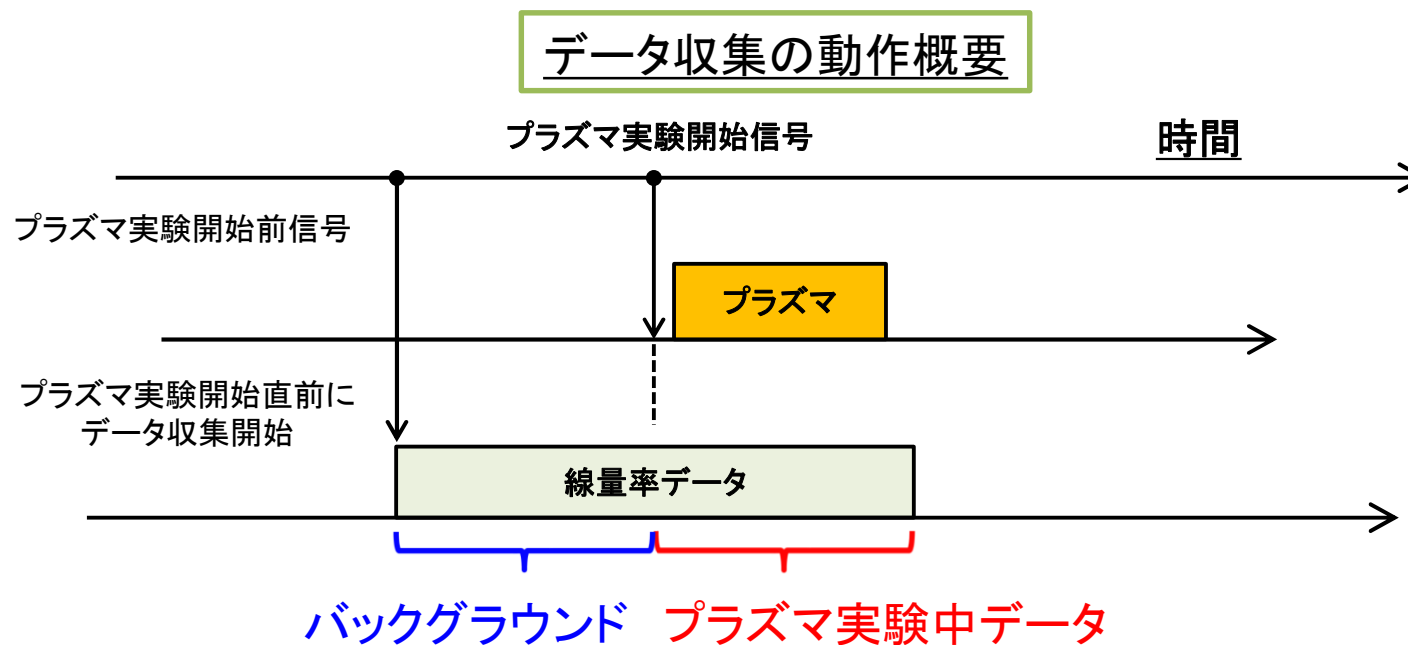
排気ガス処理システム

- ・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。
- ・現在の保留量は、4月30日時点で約1,700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。

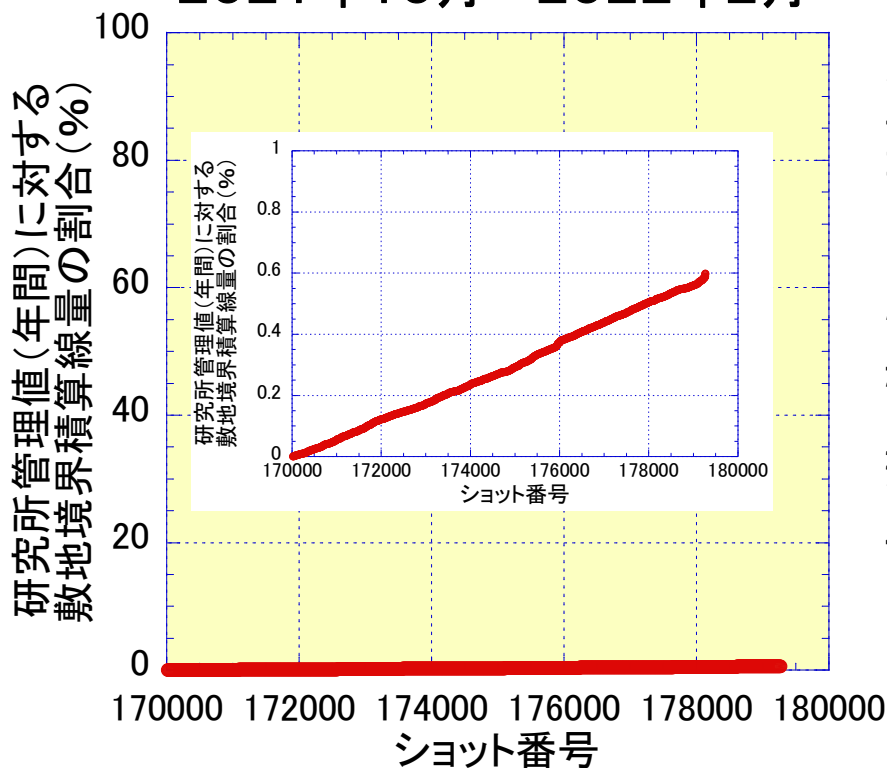


RMSAFEによる敷地境界線量の監視結果 (続き)

第5年次の重水素実験における敷地境界線量
(中性子線、ガンマ(エックス)線の合計)

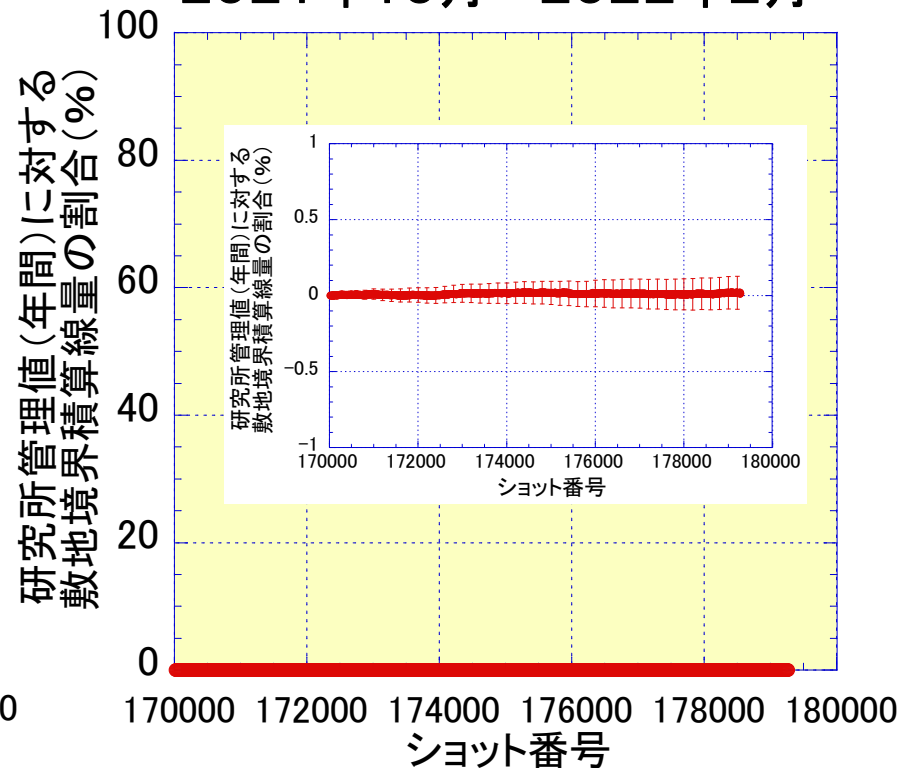
速報値

2021年10月～2022年2月



確定値

2021年10月～2022年2月



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差し引いて積算 ⇒ 確定値は、 $0.00 \pm 0.11\%$

空調ドレン水の排水に係る状況

期間	排水量 (m^3)	β 線測定	γ 線測定
		液体シンチレーション 計数装置 (Bq/cm^3)	オートウェル ガンマシステム (cpm) *
2021年4月～2021年6月	46	0.0032	ND
2021年7月～2021年9月	80	0.0038	ND
2021年10月～2021年12月	59	0.0026	ND
2022年1月～2022年3月	34	0.0019	ND
検出下限値		0.0017～ 0.0025	～12

研究所管理値：
トリチウム濃度(3月平均値)
0.6 Bq/cm^3

* cpm : 1分あたりの放射線計測回数



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



研究所管理値に対する監視結果のまとめ

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	0.28×10^{19} 個 (13%)
トリチウム発生量	37 GBq	4.9 GBq (13%)
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 (2.6%)
排気中トリチウム濃度 (3月平均)	2×10^{-4} Bq/cm ³	0.009×10^{-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	0.21×10^{-4} Bq/cm ³ (4.3%) **
排水中トリチウム濃度 (3月平均)	0.6 Bq/cm ³	0.0038 Bq/cm ³ (0.6%) ***

*第5年次における最大値 (2021年4月～2021年6月)

**第5年次における最大値 (2021年10月～2021年12月)

***第5年次における最大値 (2021年7月～2021年9月)

注: 3月平均(4月1日、7月1日、10月1日及び1月1日を始期とする各3月間についての平均)は、放射線を放出する同位元素の数量等を定める件(平成12年科学技術庁告示第5号)第14条第3項の規定による。

- ・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。
- ・監視結果のまとめについては、重水素実験放射線安全管理年報(2021年4月1日～2022年3月31日)において、2022年6月中に研究所の最新実験情報(https://www.nifs.ac.jp/j_plan/j_005.html)で公表予定です。



管理区域内における作業者の線量管理

安全管理計画における基準



メンテナンス期間における基準

作業環境(放射線業務従事者)

実効線量 1 mSv/週(法令値)

空气中濃度限度(1週間平均)

トリチウムガス 1×10^4 Bq/cm³ (法令値)

トリチウム水蒸気 8×10^{-1} Bq/cm³ (法令値)

表面密度 40 Bq/cm² (法令値)

物品搬出入

表面密度 4 Bq/cm² (法令値)

作業環境(放射線業務従事者(所員、共同研究者、学生等))

実効線量 20 μSv/週
100 μSv/月
1 mSv/年

空气中濃度限度(入室許可基準)

トリチウムガス 2×10^{-3} Bq/cm³

トリチウム水蒸気 2×10^{-3} Bq/cm³

表面密度 40 Bq/cm² (法令値)

物品搬出入

表面密度 4 Bq/cm² (法令値)

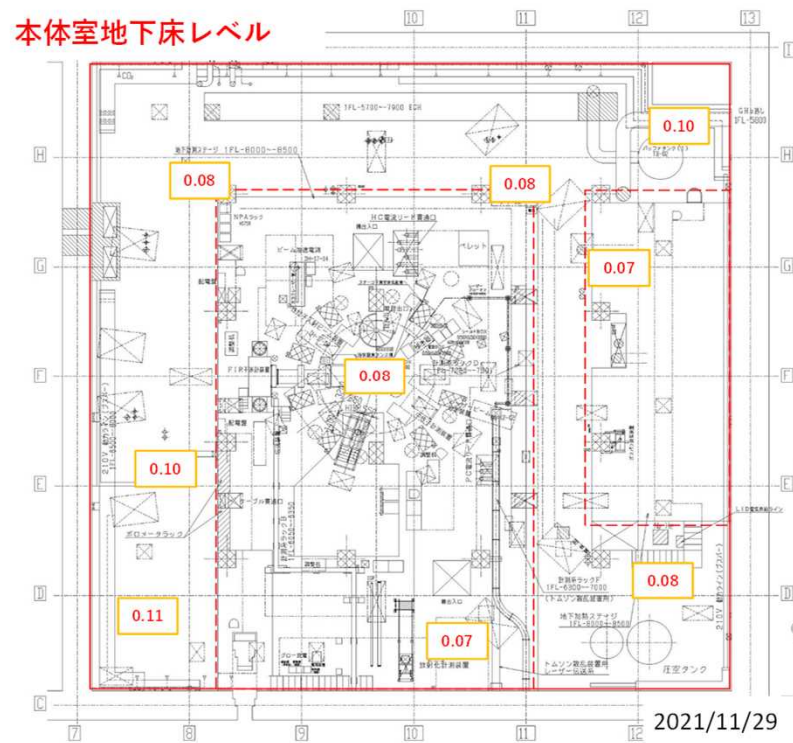
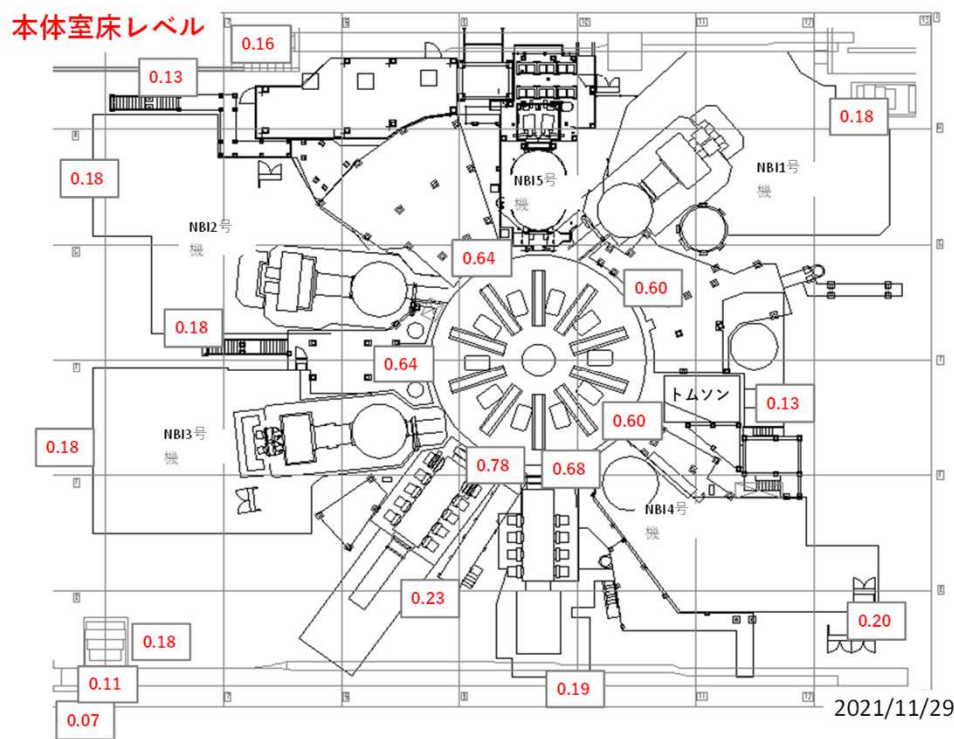


本体室・本体室地下へ立入る者の線量管理

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 μSv 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年11月29日）

単位： $\mu\text{Sv/h}$





LHD重水素実験放射線管理年報 (2021年4月1日～2022年3月31日) (目次)

目次

1. はじめに
2. LHD重水素実験について
 - 2-1. 大型ヘリカル装置における重水素実験安全管理計画<改訂版>に基づく研究所管理値
 - 2-2. 施設性能評価
3. LHD重水素実験における放射線管理の概要
 - 3-1. 放射線安全管理組織
 - 3-2. 環境放射線の監視
4. 第5年次のLHD重水素実験における放射線監視結果
 - 4-1. 中性子及びトリチウムの総発生量(年間)
 - 4-2. LHD重水素実験に起因する敷地境界線量(年間)
 - 4-3. 排気塔からのトリチウム積算放出量(年間)と排気塔における排気中トリチウム濃度(3月平均)
 - 4-4. 排気塔における排気中アルゴン41濃度(3月平均)
 - 4-5. 排水管理
 - 4-6. トリチウム含有水の発生量と引渡し
 - 4-7. まとめ
5. 放射線業務従事者の管理状況に関する事項
 - 5-1. 放射線業務従事者
 - 5-1-1. 登録者数
 - 5-1-2. 教育訓練
 - 5-2. 法令に基づく健康診断
 - 5-3. 個人線量管理
 - 5-4. 大型ヘリカル実験棟本体室・本体室地下へ立入る者の線量管理
6. その他
 - 6-1. 環境水中トリチウム濃度の推移
 - 6-2. 環境放射線量の推移
 - 6-3. 核融合科学研究所安全監視委員会による環境中性子線量率、及び環境水中トリチウム濃度の測定

安全管理計画における公表事項の確定値については、この年報に掲載します。
年報は2022年6月中に研究所ホームページで公表予定です。



機器メンテナンス

～排気ガス処理システムの保守点検～

排気ガス処理システムの年次保守点検をプラズマ実験前後に実施しました。

- 対象機器及び保守点検期間:
 - プラズマ実験前: 吸湿剤型装置(実験排気ガス処理用、プラズマ実験期間に使用)及びユーティリティー機器、2021年8月4日～8月19日
 - プラズマ実験後: 高分子膜型装置(真空容器内パージガス処理用、真空容器メンテナンス期間に使用)、2022年2月22日～3月4日
- 計測機器、回転機器を対象として、定期的な消耗部品の交換、保守点検後の運転状態の確認などを行いました。
- 水素ガスを用いた除去性能評価試験(実験前:9月10日、実験後:3月16日)を行い、95%以上の除去性能を確認しました。



熱線式流量計保守点検の様子



送風機保守点検の様子



圧縮機保守点検の様子



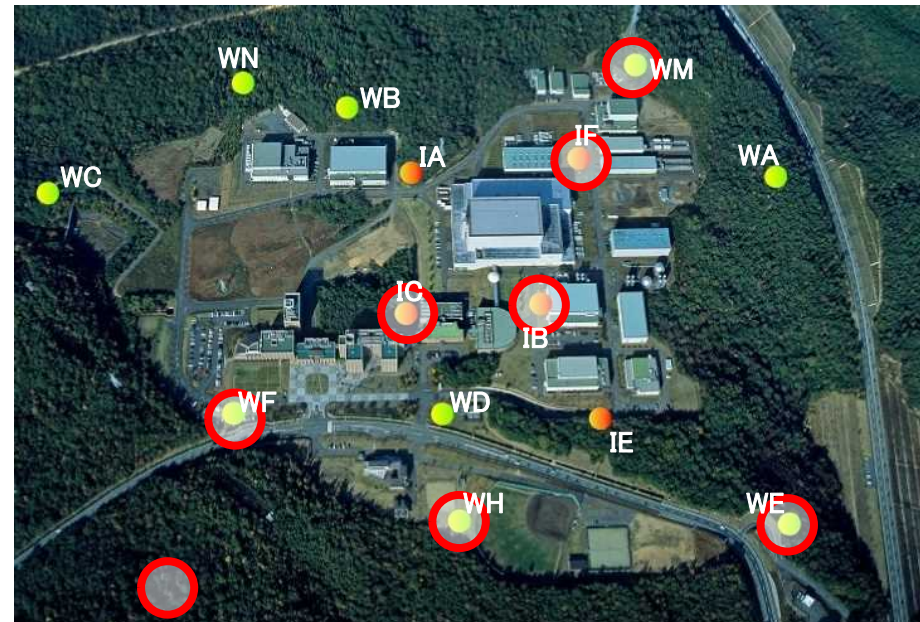
機器のメンテナンス

～放射線モニタリングシステム(RMSAFE)の年次点検～

- ・校正用微弱線源による簡易校正を含む点検を2021年7月5日～7月13日の日程で実施しました。
- ・今回は、敷地境界区域のモニタリングポストWE、WF、WM、WH、及び実験棟近傍区域のモニタリングポストIB、IC、IFについて点検を実施しました。
- ・敷地境界線量評価に用いるIC、IFは毎年、その他のポストは、3年に1回を目途に点検を実施します。
- ・各機器について正常動作を確認しました。



ICポスト点検の様子



2021年度に点検を実施したモニタリングポスト 29/41



機器のメンテナンス

～ITV・入退管理装置保守点検～

ITV※1・入退管理装置点検(2021年8月2日～10日)

- ・大型ヘリカル実験棟及びその周辺に100台近くのITVが設置されています。また、管理区域内とその境界に50カ所近くの電気錠とゲートが設置されています。これらのITV・電気錠、ゲート、入退管理装置及び関連機器の点検作業を行いました。
- ・点検の結果、正常動作が確認されました。また、ITV映像を録画しているHDD※2レコーダー1台の交換を行いました。



ゲート点検の様子



交換したHDDレコーダー

※1 ITV: 遠隔監視カメラ

※2 HDD: Hard Disk Drive



機器のメンテナンス ～LHD中央制御装置保守点検～

- ・LHD中央制御装置の主要構成機器(中央制御サーバ、操作・監視用ワークステーション)の保守点検を2021年8月2日～8月5日に行いました。
- ・上記機器用の標準時刻校正装置※の交換他を行いました。



交換前の標準時刻校正装置
と中央制御サーバ



交換後の標準時刻校正装置

※ LHD中央制御装置専用ネットワークに接続された機器の時刻校正のために設置



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、石鹼による手洗い・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。

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2021年1月に策定。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。



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



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

2021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

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
(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

LHD重水素実験放射線管理年報

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)
 - 環境中性子線量の測定(2015年10月～)
 - 環境水中トリチウム濃度の測定(2015年8月～)
 - 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
- ・その他必要な事項の実施

委員会の開催状況

- ・これまで11回の委員会を開催
- ・重水素実験開始後の委員会において、**安全性を最優先に重水素実験を進めていること、及び重水素実験による周辺環境への影響がないこと**をご確認いただきました。



環境中性子線量測定の様子



環境水採水の様子



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)

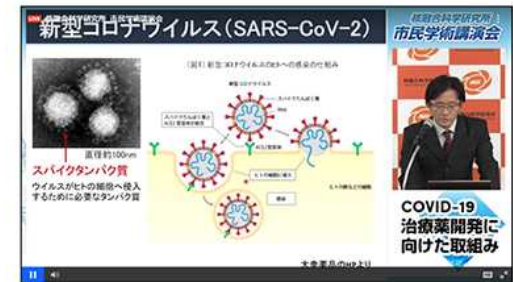
- ・重水素実験の実施状況と安全性、研究計画について説明
(これまでに延べ5,761名)
- ・2020年度:3市合計7会場137名(土岐市2会場54名、多治見市4会場59名、瑞浪市1会場24名)
- ・2021年度 ※新型コロナウイルス感染拡大を受けた岐阜県の緊急事態宣言延長により中止としたため、説明会で予定していた内容をQ&A形式でまとめ、ホームページに掲載



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)

○オープンキャンパスの開催(2021年度 約530名 ※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(2021年度 約760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



災害(地震)対策概要



大型ヘリカル装置(LHD)における安全対策

安全管理計画策定時において、地震が発生時にLHDにて起こりうる事象を検討した(第4回安全評価委員会にて審議^{※1})。更に、東日本大震災を受けて、地震発生時に起きうる事象について再確認し、安全管理計画を再検討した(第8回、第9回安全評価委員会にて審議^{※2、※3})。

以下は、東日本大震災を受けて再検討した安全管理計画における安全対策の概要

○災害・事故時の対応

- ・ 重水素ガスの漏れ → 爆発しない構造
- ・ 電源喪失 → 非常用電源の整備
- ・ 通報体制 → 衛星電話の整備、要員増強、基準以下での報告
- ・ 状況の把握(正確な情報) → 各種モニター類の充実
- ・ 非常時体制の確立 → 自衛消防隊業務の明確化、非常時体制・指揮系統の確立徹底など
- ・ 災害・事故時の対応の強化 → 地震、風水害、停電(電源喪失)、火災対応マニュアルの流れ図化
- ・ 訓練の充実 → 防災訓練、消火訓練の充実と強化

※1 第4回安全評価委員会(平成19年4月21日)開催報告

https://www.nifs.ac.jp/j_plan/070421.html

※2 第8回安全評価委員会(平成23年12月15日)開催報告

https://www.nifs.ac.jp/j_plan/111215.html

※3 第9回安全評価委員会(平成24年1月31日)開催報告

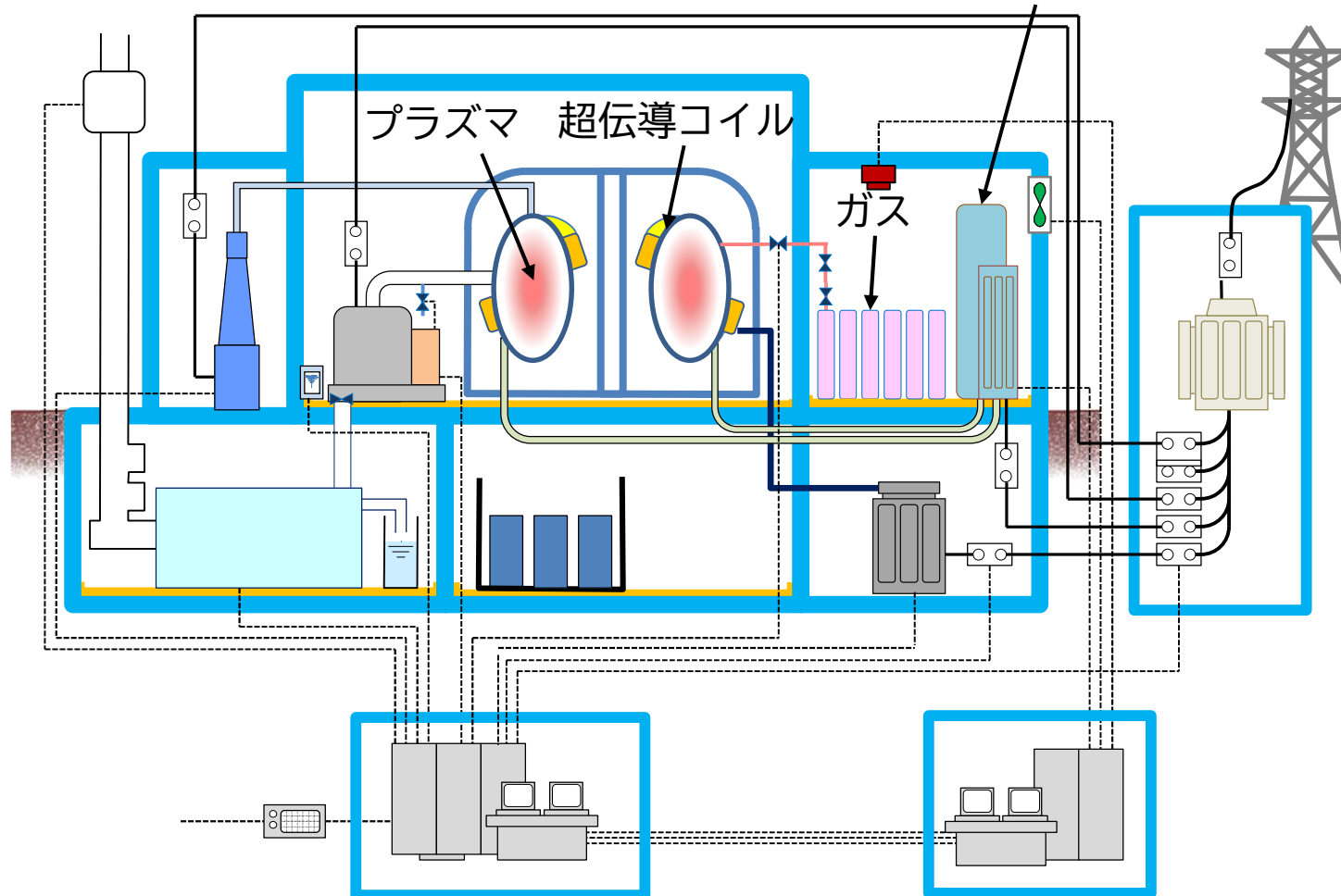
https://www.nifs.ac.jp/j_plan/120131.html



電源が落ちれば、プラズマは消える

プラズマを点けるには（１）真空、（２）超伝導、（３）磁場、（４）ガス、（５）加熱が同時に必要、どれが欠けてもプラズマは消える。
→非常時には電源を落とせばプラズマ消失。

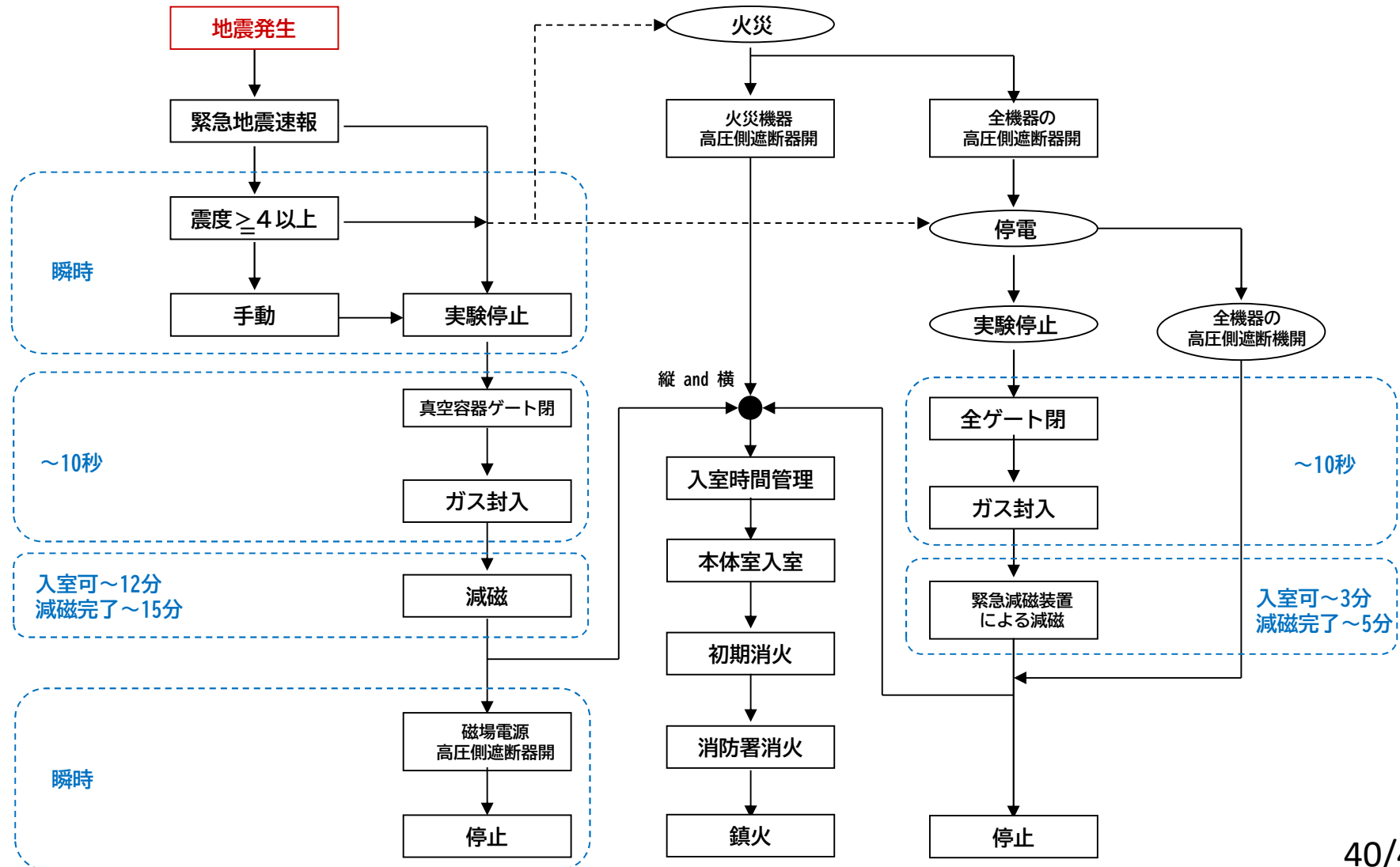
超伝導コイル冷却用液体ヘリウム





地震発生時のフロー

停電すると超伝導コイルにエネルギーが蓄えられたままとなるため、これを放出させて、全機器停止とする





電源喪失対策

LHDの主要機器の制御系は、停電後、30分から1時間、電気を供給できるバッテリーを保有



バッテリーの生きている間に各機器を健全に停止できるよう設計されている

加えて、電源損失時に放射線関連の管理・監視を継続するために非常用電源を整備した
100 kVA/80 kWクラスの発電機、貯蔵タンクは10日分程度

供給先



放射線管理設備、放射線総合監視システム
安全対策用測定機器
トリチウム関連装置の管理・制御設備
大型ヘリカル実験棟入退管理装置
大型ヘリカル実験棟管理設備
大型ヘリカル実験棟放送設備 など

その他の非常用電源：

35 kVA/35 kW (軽油950L/77時間：自動切替)

・ ・ 自火報・放送・交換機・非常用電話 (ファックス：衛星回線を含む) 用

95 kVA/76 kW (軽油 60L/2時間：自動切替) ・ ・ 消火栓ポンプ用