A photograph showing the interior of a large, complex helical device, likely a tokamak fusion reactor. The structure is composed of numerous metallic, curved segments arranged in a helical pattern, creating a series of nested, spiraling channels. The lighting is dramatic, with a strong blue tint across the center of the image.

大型ヘリカル装置における 今後の安全管理体制等について

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



重水素実験終了後のLHDの放射線管理の考え方

- **重水素実験の終了により、新たな中性子やトリチウムの発生はありません。**また、LHDは、「放射性同位元素等の規制に関する法律(以下、「RI規制法」)に基づく放射線発生装置(プラズマ発生装置※)には該当しなくなりました。

※ RI規制法第2条第5項、RI規制法施行令第2条第8号告示「荷電粒子を加速することにより放射線を発生させる装置として指定する件」

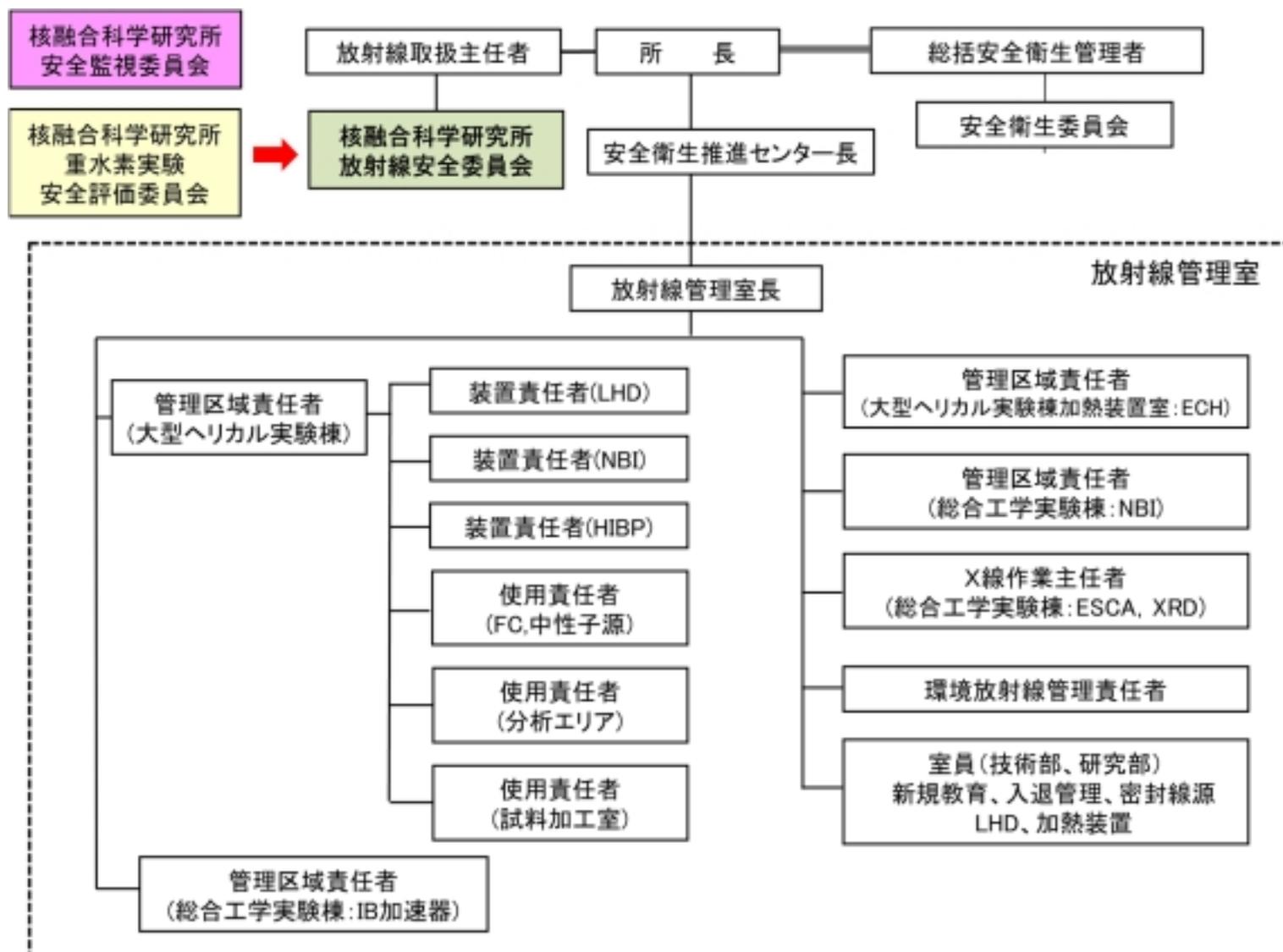
重水素とトリチウムとの核反応における臨界プラズマ条件を達成する能力をもつ装置であって、**専ら重水素と重水素との核反応を行うものに限る。**

- LHDの放射線管理については、重水素実験開始以前から稼働する、LHDプラズマの電位を計測する重イオンビームプローブ計測装置(HIBP)の加速器(コッククロフト・ワルトン型加速装置)が、RI規制法に基づく放射線発生装置のため、**同加速器の管理区域として引き続き設定し、適切な管理を継続**します。

LHDを放射線発生装置(プラズマ発生装置)から除外する申請、及び大型ヘリカル実験棟本体室について、プラズマ発生装置を主要な放射線発生装置とする管理区域から、コッククロフト・ワルトン型加速装置を放射線発生装置とする管理区域へ変更する変更承認申請を2023年2月21日付けで原子力規制委員会に行い、**同年9月5日に承認**されました。

放射線安全管理体制

これまで、LHD重水素実験に係る実験計画等の安全性の評価を安全評価委員会にお諮りしてきておりました。重水素実験が終了し、LHDそのものがRI規制法に基づく放射線発生装置(プラズマ発生装置)に該当しなくなったことを考慮して、今後はLHDに係る放射線管理については、研究所全体の放射線の安全管理を審議する放射線安全委員会に機能を移します。





研究所における放射線の管理について

重水素実験の終了に伴い、新たな中性子やトリチウムの発生はなくなりますが、RI規制法に基づく管理区域を引き続き設定し、法令等に従って管理します。

・LHDの管理区域

- HIBP加速器(コッククロフト・ワルトン型加速装置)の管理区域として、現行の区域を維持して管理しています。

・トリチウム除去装置

- 重水素実験の終了に伴い、**新たなトリチウムの発生はなくなりますが**、経過措置として2023年度の保守点検期間とプラズマ実験に該当する期間は運用を継続しています。
- トリチウム除去装置は2台あり、重水素実験開始時において既に様々な事業所で運用実績があった吸湿剤型除去装置(MS型装置)と当時は新規技術の高分子膜型除去装置(PM型装置)です。
- 6年間の重水素実験で、PM型装置は十分な運用実績を積み信頼性を示すことができましたので、PM型装置で処理運転を行っています。**これは、これまでの実験期における粗引き排気時及びメンテナンス期のトリチウム除去装置の運用と同様です。**

・排気塔における監視

- 重水素実験の終了に伴い、新たな中性子の発生はなくなることから、中性子の放射化により発生するアルゴン41の測定監視は行っていません。トリチウムの監視は引き続き行っています。

・敷地境界線量

- 加速器2台を運用しているため、放射線モニタリングシステム(RMSAFE)による放射線測定を継続し、50 μ Sv/年で監視をしています。

・排水管理

- 管理区域で発生します排水に含まれるトリチウム濃度は、法令値(60 Bq/cm³[3月平均値])にしたがって監視を継続しています。



重水素実験で発生したトリチウムとその環境への影響

▶ トリチウムの発生量

- ✓ 重水素どうしの核融合反応には中性子を発生する反応 ($D(d,n)^3\text{He}$) とトリチウムを発生する反応 ($D(d,p)\text{T}$) があり、トリチウム発生量は中性子発生量から評価しています。
- ✓ 安全側の評価をするために、重水素実験安全管理年報等では分岐比 ($D(d,p)\text{T}/D(d,n)^3\text{He}$) ~ 1 を使用してきました。
- ✓ 実際には、重水素のエネルギーが高いほど分岐比は減少する。LHDプラズマ中での高エネルギー重水素イオンのエネルギー分布を考慮すると、分岐比は0.936以下となります。

▶ トリチウム滞留量

- ✓ 滞留したトリチウムは約12年の半減期で減少します。
- ✓ トリチウム除去装置入口でモニターした排気量を上記の発生量から差し引き、半減期による減少分を考慮すると滞留量は11.1GBqとなりました。(2023年2月27日現在)
- ✓ これまでの研究成果より、大部分のトリチウムはダイバータと呼ばれる領域の炭素板に滞留していることが分かっています。
- ✓ 第25サイクルのLHD実験終了後に、この炭素板を交換することで滞留したトリチウムを除去する予定です。

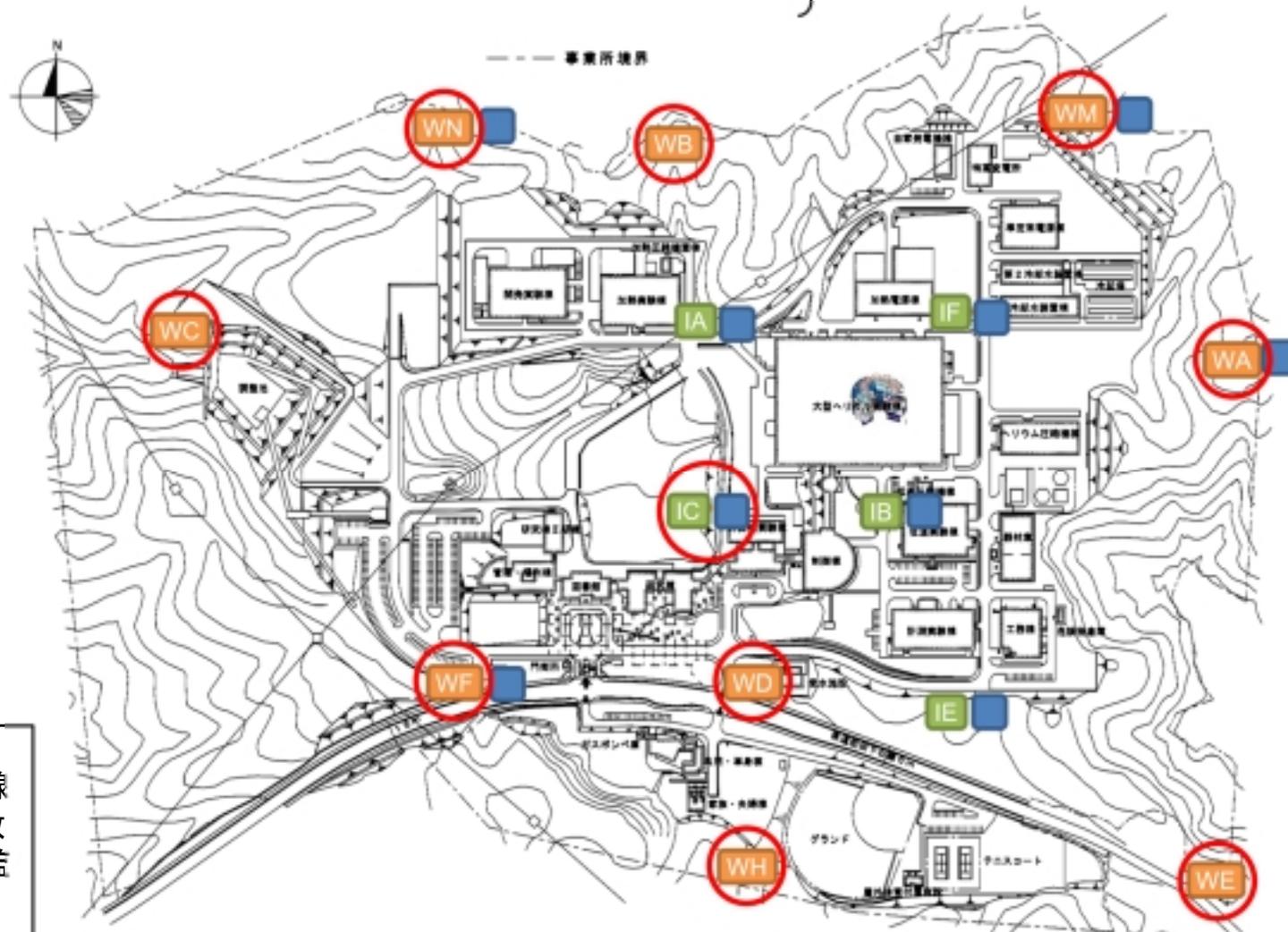
| 重水素実験年次 | 重水素実験期間 | 中性子発生量 [個] | トリチウム発生 [GBq] (分岐比 ~ 1) |
|---------|------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 1 | 2017/3/7 ~ 2017/7/7 | 0.36×10^{19} | 6.4 |
| 2 | 2018/10/23 ~ 2019/1/25 | 0.34×10^{19} | 6.0 |
| 3 | 2019/10/3 ~ 2020/1/10 | 0.13×10^{19} | 2.2 |
| 4 | 2020/10/15 ~ 2021/1/22 | 0.20×10^{19} | 3.6 |
| 5 | 2021/10/14 ~ 2022/1/21 | 0.28×10^{19} | 4.9 |
| 6 | 2022/9/28 ~ 2022/12/2 | 0.26×10^{19} | 4.5 |

RMSAFEによる敷地内及び敷地境界における放射線モニタリング

- ガンマ(エックス)線モニタリング: 敷地/事業所境界(9箇所) 
 - ICポスト: ガンマ(エックス)線 & 中性子モニタリング 
 - ガンマ(エックス)線モニタリング: 大型ヘリカル実験棟近傍(4箇所) 
 - 中性子モニタリング 
- 引き続き計測を継続します。
- ICポストを除き、2023年度末に測定を終了します。



モニタリング
ポスト外観

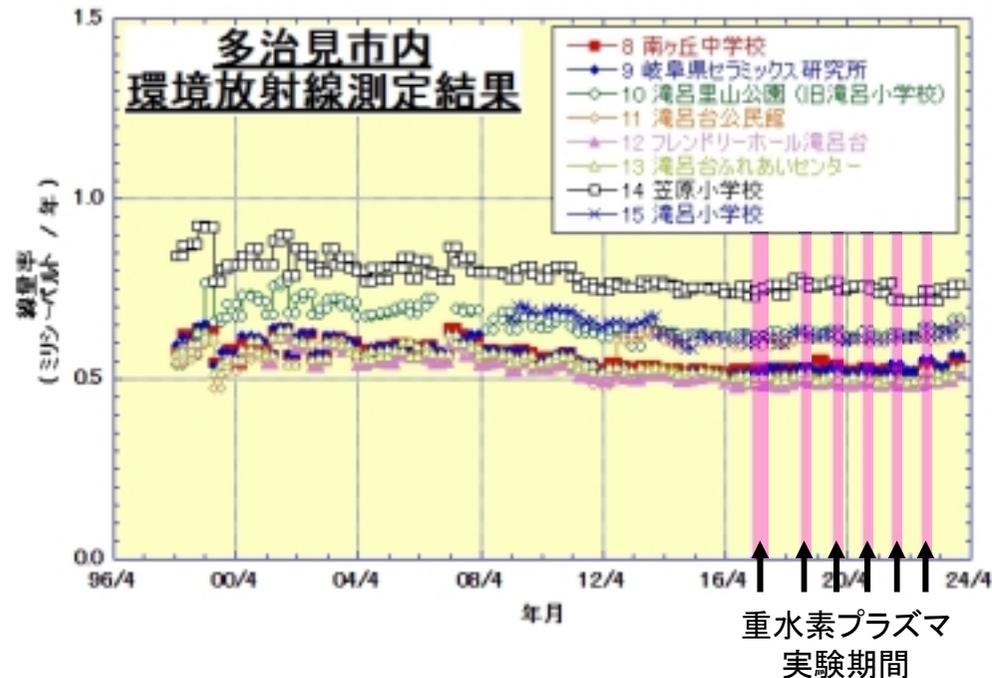
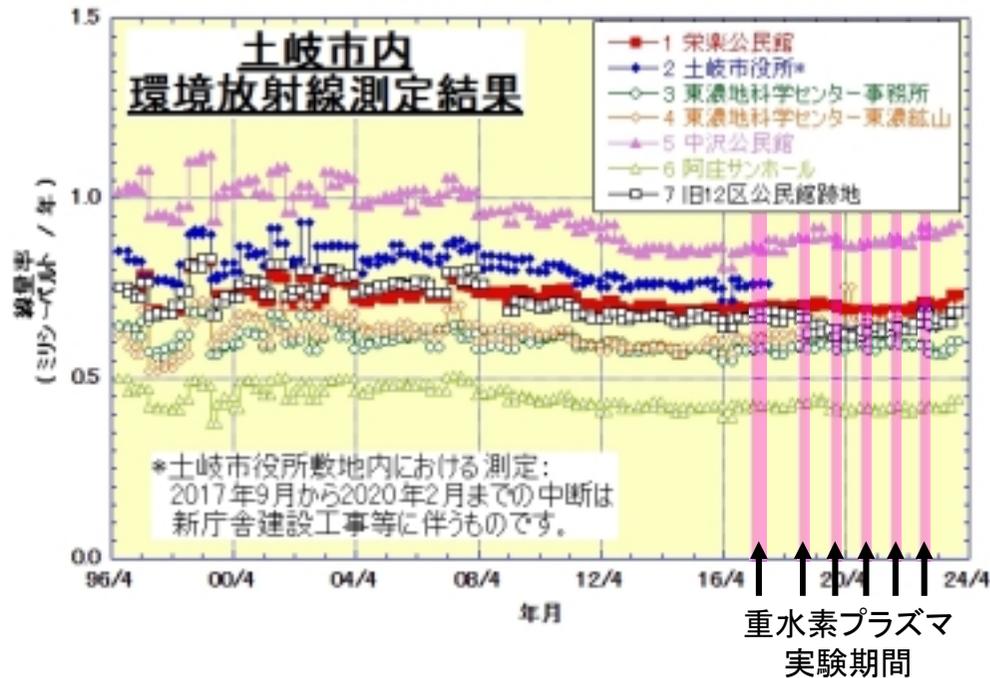
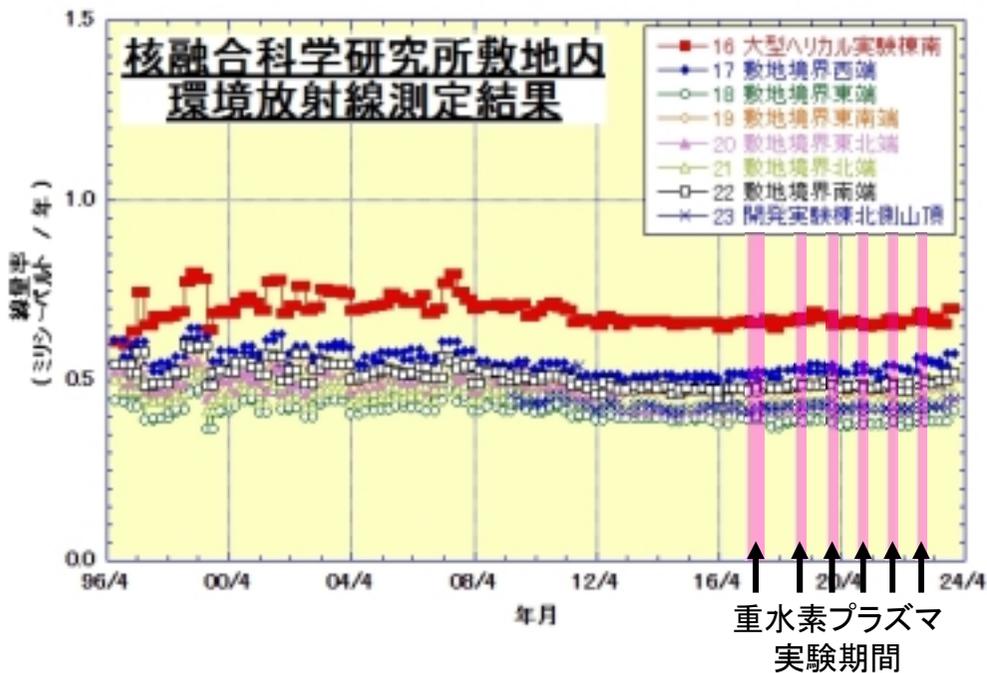


※ RMSAFE: 敷地境界の放射線量値を把握するため、敷地内に放射線測定器を設置して放射線を監視(モニタリング)するシステム

- 1982年(昭和57年)から測定を実施
- 研究所敷地内(8箇所)及び土岐市(7箇所)
- 多治見市(8箇所)



→重水素実験期間中において環境放射線量の増加は観測されていません(次頁参照)。
 昨年度、重水素実験が終了し、今年度においても変化がないことから、2023年度末をもって測定を終了します。

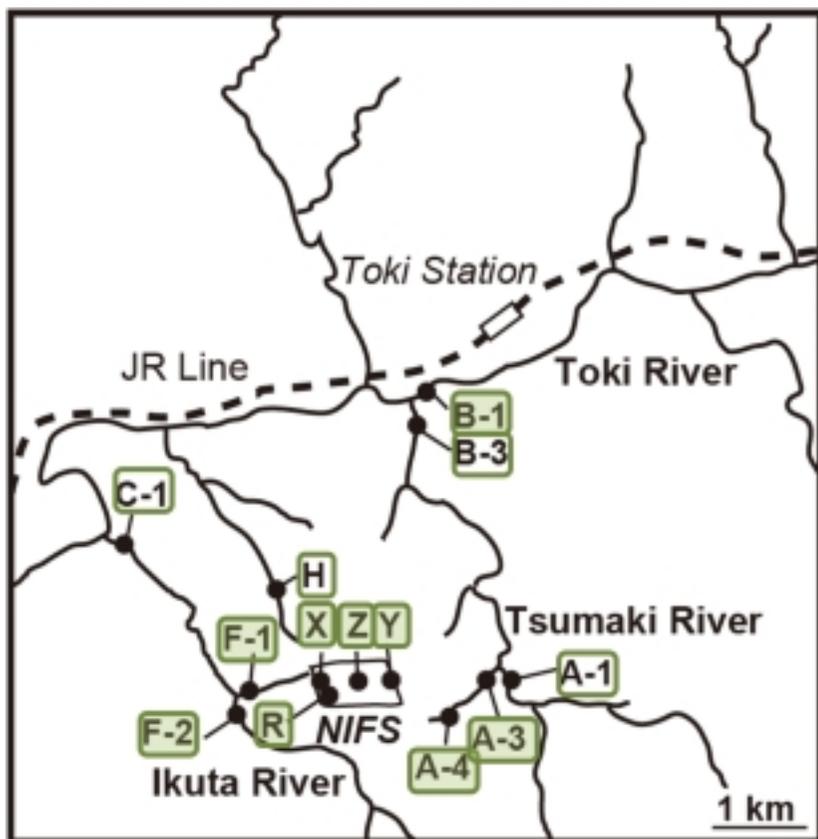


*土岐市役所敷地内における測定: 2017年9月から2020年2月までの間は新庁舎建設工事等に伴い中断しています。

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。

河川、雨水、水道水の測定

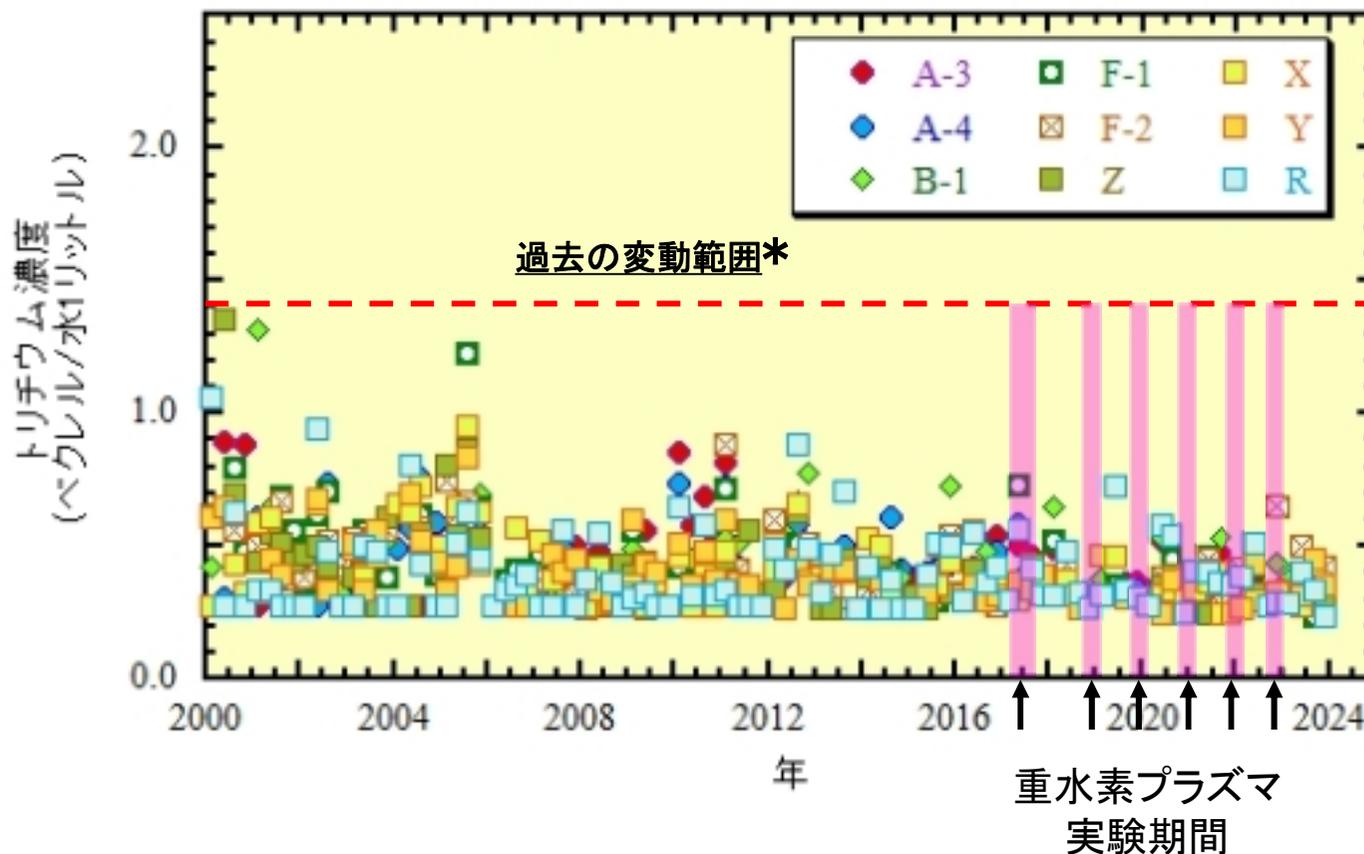
- 1982年(昭和57年)から測定を実施
- 測定時期/採水量: 年4回(2月、5月、8月、11月) / 1 L
- 現在の採水地点: 土岐川集水域を対象とし、NIFS敷地内の分水嶺を境に、東側の妻木川集水域、西側の生田川集水域の河川、敷地内雨水、水道水、調整池、など



| 採取ポイント | 名称 | 測定 |
|--------|-----------|------|
| A-1 | 妻木川 | 採水のみ |
| A-3* | 妻木川(窯の洞川) | 測定 |
| A-4* | 妻木川(窯の洞川) | 測定 |
| B-1 | 土岐川 | 測定 |
| B-3 | 妻木川 | 採水のみ |
| C-1 | 生田川 | 採水のみ |
| F-1* | 生田川 | 測定 |
| F-2* | 生田川 | 測定 |
| H | 大洞池 | 採水のみ |
| R | 雨水 | 測定 |
| X | 調整池 | 測定 |
| Y | 水道水 | 測定 |
| Z* | 滝壺跡 | 測定 |

※監視委員会との合同測定点

→重水素実験期間中において環境水中のトリチウム濃度の上昇は観測されていません(次頁参照)。
2024年度以降は安全監視委員会との合同測定のみとし、同委員会の方針に合わせて行います。
本合同測定は同委員会との協議の上、段階的に縮小して終了することを検討しています。



| | | | |
|-----|-----------|---|-----|
| 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)

➤ 連絡手段の一部変更

- 固定電話が使用できる場合は、これまでどおり、電話・FAXにてご連絡いたします。
- 固定電話が使用できない場合は、衛星電話に代えて、メール等のインターネットを活用した連絡や、研究所のホームページやSNSを用いた機器の状況報告をする予定です。また、災害等の不測の事態に対応するため、スターリンク衛星システムを用いてインターネット接続を強化する予定です。なお、安全管理計画に記載されているように研究所には非常用電源設備が整備されております。

➤ 通報・連絡・公表事項の見直し

- 重水素実験の終了により、LHDはRI規制法に基づく放射線発生装置(プラズマ発生装置)ではなくなりました。これに伴い、内容の一部変更します。



◆ 連絡手段の一部変更(案)

| | 現状 | 一部変更(案) |
|-------------------|--------------------|----------------|
| 【執務時間内】 | | |
| ① 固定電話可 | 電話及びFAX | 電話及びFAX |
| ② 固定電話不可 | <u>衛星(電話及びFAX)</u> | <u>インターネット</u> |
| ③ ①、②いずれも不可 | <u>派遣</u> | <u>派遣</u> |
| 【執務時間外・休日】 | | |
| ① 固定電話可 | 電話又は携帯 | 電話又は携帯 |
| ② 固定電話不可 | <u>衛星(FAX)</u> | <u>インターネット</u> |
| ③ ①、②いずれも不可 | <u>派遣</u> | <u>派遣</u> |

※時間外・休日の電話又は携帯： 県・3市担当者等の電話又は携帯



第25サイクルLHDプラズマ実験スケジュール(予定)

令和5年度から、LHDは文部科学省の学術研究基盤事業の支援を受け、3年間の「超高温プラズマ学術研究基盤(LHD)計画」として、プラズマ実験を実施します。

超高温プラズマを安定的に生成できる大型ヘリカル装置(LHD)を学際的な研究基盤として活用して、核融合に限らず、広く宇宙・天体プラズマにも共通する様々な複雑現象の原理に迫る国際共同研究を実施する予定です。

本実験は、通常の水素(軽水素)等を用いるため、新たな中性子やトリチウムの発生はありません。

| 年 | 2024 | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------|---|------|-------------|---|----|---|------|---|----|----|----|
| 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 装置の 運転状態 | 整備作業 | | | LHD真空容器真空引き | | | | 整備作業 | | | | |
| | 冷却 | | 定常冷却 | | | 昇温 | | | | | | |
| | プラズマ実験 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

- ◆ LHD真空容器真空引き: 令和6年2月1日～7月23日
- ◆ コイル冷却: 2月14日～7月12日
- ◆ プラズマ実験 : 3月13日～6月20日