

# 大型ヘリカル装置(LHD)第19サイクル 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

1/31

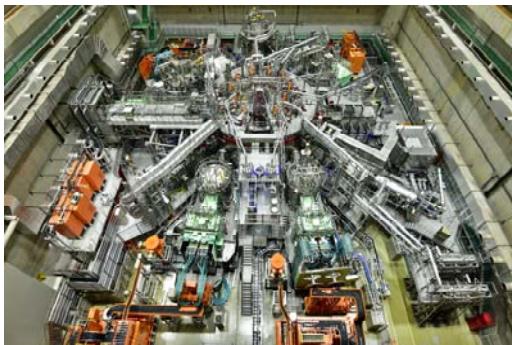


## LHD重水素実験の目的

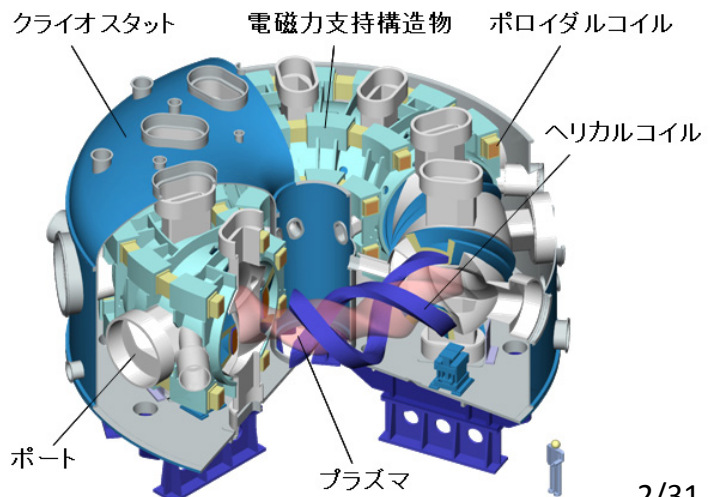
重水素ガスを用いてイオン温度1億2千万度を達成し、核融合発電を見通せる高性能プラズマの研究を遂行する。

⇒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。

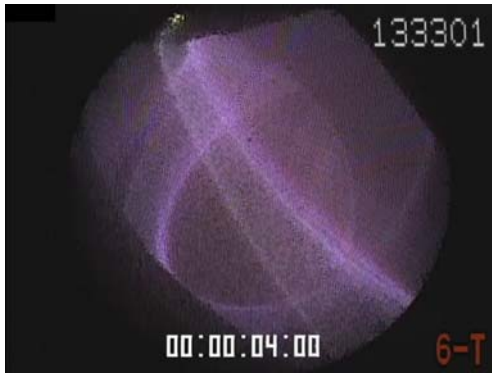
⇒新たな研究領域の開拓や実験の多様性を拡大する。



- ・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
- ・平成10年4月 LHD実験開始
- ・平成29年3月 LHD重水素実験開始



2/31



重水素ガスによる最初のプラズマ

## 平成29年3月7日、重水素ガスを用いた実験(重水素実験)を開始

放射線障害防止法に基づく「施設検査合格証」が交付されました(3月29日)。

## 7月7日まで、重水素実験を実施

イオン温度1億2,000万度を達成するなど、大きな成果を挙げました。

また安全に実験を実施しました。



146名の来賓、所員約300名が出席した点火式

## 7月11日～8月3日、軽水素ガスを用いた実験を行い、その後、超伝導コイルを1ヶ月かけて昇温しました。

3/31

## 安全管理機器の性能及び安全管理体制の機能を確認

1. 遮蔽壁の性能検査を経て、登録検査機関から「施設検査合格証」が交付されました。
2. 安全管理計画に基づいて設置された、トリチウム除去装置、放射線総合監視システム等の健全性を確認しました。
3. 実験実施体制、危機管理・連絡体制、防災訓練の実施等、安全確保上の体制も十分機能していることを確認しました。

※ これらのことについては、県・3市へ説明の後、4月21日に記者発表とホームページにより公表

4/31



## 遮蔽壁の性能検査を経て施設検査合格

### 2mコンクリート遮蔽壁の性能検査 (3月7日より2週間)

重水素ガスを用いた調整運転(予備的実験)で発生した中性子を管理区域内外で測定

2週間の実験で発生した中性子の積算量 = 実験1回の最大中性子発生量の1.5倍  
( $8.5 \times 10^{16}$ 個) ( $5.7 \times 10^{16}$ 個)  $\times$  1.5



- 遮蔽壁の外に複数設置したクイクセルバッジによる測定  
⇒ 全て検出下限値(0.01ミリシーベルト)以下
- 放射線モニタリングシステム(RMSAFE)の屋外モニタによる測定  
⇒ 実験に起因する放射線量は検出されず



**2mコンクリート壁の放射線遮蔽性能に問題のないことを確認**

放射線障害防止法に基づく、LHDの「放射線発生装置(プラズマ発生装置)に係る施設検査」について、同法に基づく検査業務を行う登録検査機関から、平成29年3月29日付けで施設検査合格証が交付されました。

5/31



## その他の機器と安全確保上の態勢

### トリチウム除去装置

- ・ LHDの真空排気システムとの連動運転試験を実施し、問題のないことを確認
- ・ 現在まで連続運転を行っており、稼働率100%でトリチウムの除去・回収運転を継続中
- ・ 95%以上のトリチウム回収率を確認  
⇒ トリチウム除去装置が所期の性能を発揮していることを確認

### 放射線総合監視システム

- ・ 管理区域入退管理システム、放射線モニタリングシステム等の信号を一元管理  
⇒ 所期性能を確認
- ⇒ 放射線の測定値は、研究所ホームページ上で速報値として公開中
- ・ インターロックシステムは、施設検査において健全性を確認

### 安全確保上の態勢

- ・ 防災訓練(全所員が参加)、LHD消火訓練(実験期間中に関係者が参加)を毎年度実施  
⇒ 災害時、緊急時等における危機管理体制・連絡体制の確認
- ・ 重水素実験の開始に伴い、通年にわたる24時間の監視体制を整備  
⇒ 特に重水素実験の開始初期においては、研究所職員による宿日直制度を運用
- ・ プラズマ実験の起動は安全確認を行ったうえで手動で実施

**重水素実験の遂行上、安全確保上の態勢が十分機能していることを確認しました。**

6/31



## 防災訓練、LHD消火訓練の実施

### 防災訓練(全所員が参加)

- ・巨大地震が発生し職員食堂厨房で火災、負傷者が発生した想定で毎年度実施(平成28年9月30日、平成29年11月6日(予定))
- ・土岐市南消防署の参加を得て、災害警戒本部の立ち上げ、自衛消防隊(本部隊、地区隊)による関係機関への通報、初期消火、及び実験設備の安全確認、並びに所員安否確認等の訓練を実施



災害警戒本部

### 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(平成29年2月10日、平成29年8月2日)
- ・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、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



初期消火活動に向かう現場対応班

7/31



## 通年24時間体制による監視



制御室における機器の監視



機器の点検

8/31

平成29年8月9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

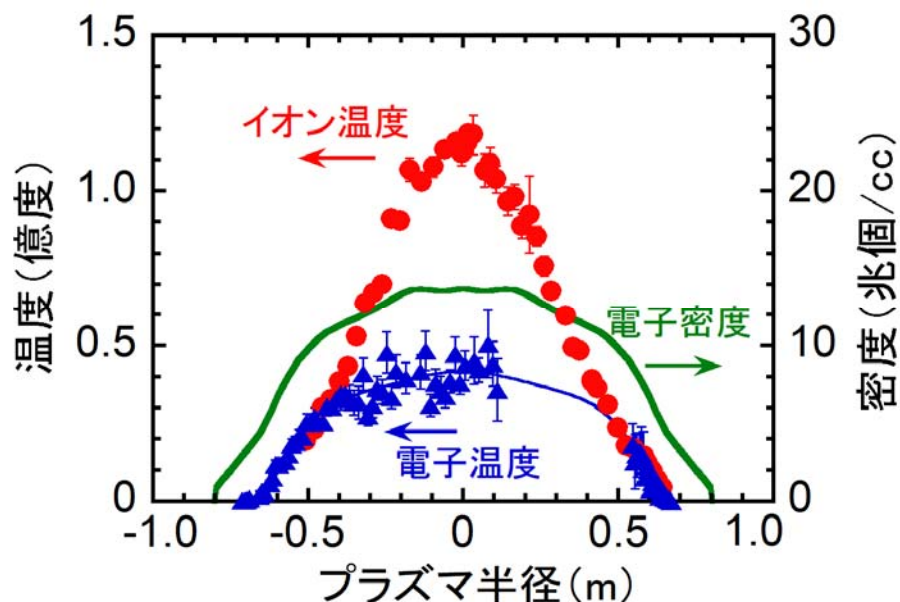
## イオン温度1億2,000万度を達成 — ヘリカル型核融合炉実現への見通しを確立 —

### 概要

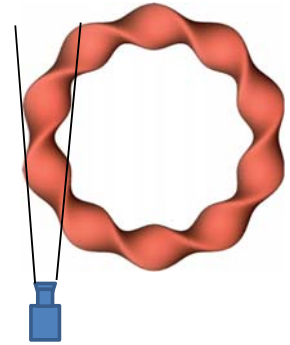
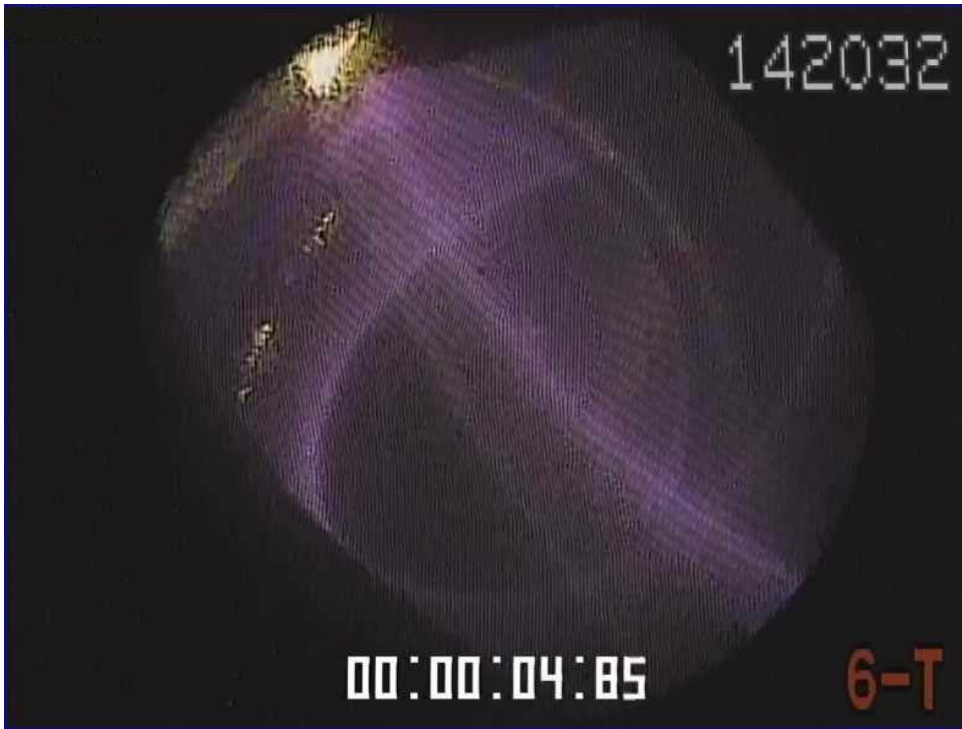
自然科学研究機構 核融合科学研究所 (岐阜県土岐市 所長 竹入康彦) は、我が国独自のアイデアに基づいた世界最大級の超伝導核融合プラズマ実験装置である大型ヘリカル装置 (LHD) を用いて、平成29年3月7日より行ってきた重水素実験で、プラズマ中のイオンの温度1億2,000万度を達成しました。この温度は核融合を実現するために最も重要なプラズマ条件の一つであり、今回の成果により、定常運転性能に優れたLHD方式によるヘリカル型核融合炉実現への見通しを確立しました。

9/31

- ・ 定常運転性能に優れたLHDで、核融合条件の一つであるイオン温度1億2,000万度を達成しました。  
(軽水素プラズマの最高は9,400万度)
- ・ ヘリカル型定常核融合炉の実現へ向けて、大きく前進しました。

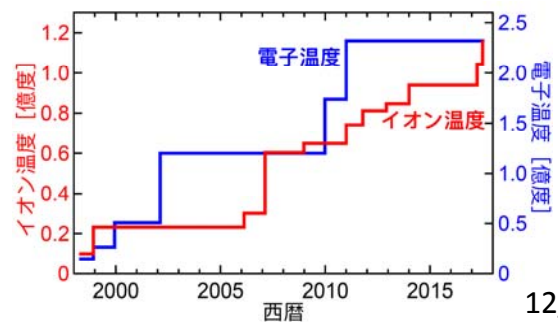
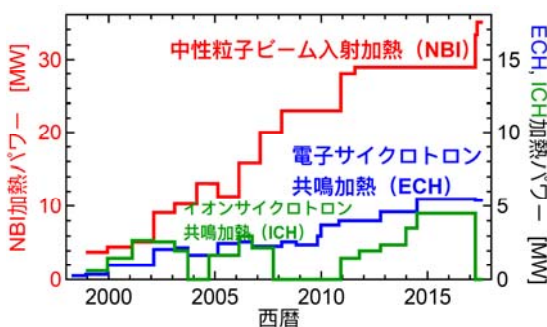


10/31



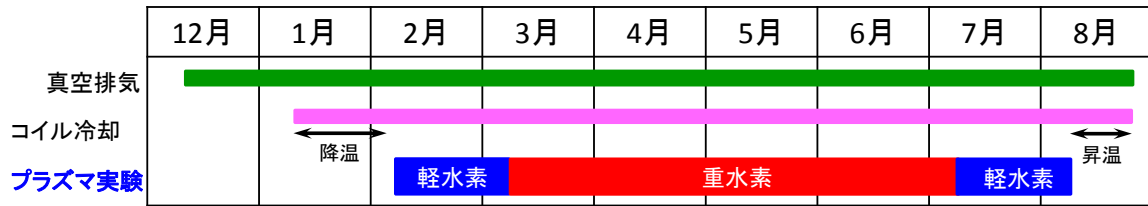
## 核融合炉を見通せるプラズマの研究がLHDで可能に

プラズマ性能	大型ヘリカル装置 達成値	大型ヘリカル装置 最終目標値	核融合炉 設計条件の目安
イオン温度	1億2,000万度 (密度 13兆個/cc)	1億2,000万度 (密度 20兆個/cc)	1億2,000万度以上 100兆個/cc以上 閉じ込め1秒以上
電子温度	2億3,000万度 (密度 2兆個/cc) 1億2,000万度 (密度 16兆個/cc)	1億2,000万度 (密度 20兆個/cc)	
密度	1,200兆個/cc (温度 300万度)	400兆個/cc (温度 1,500万度)	
ベータ値 (プラズマ圧力/ 磁場圧力)	5.1% (磁場 0.425T) 4.1% (磁場 1T)	5% (磁場 1-2T)	5%以上 (磁場 5T以上)
定常運転	54分 (500 kW) 48分 (1200 kW)	1時間 (3 MW)	定常(1年)





## 第19サイクル実験は予定どおり終了



### 第19サイクルのプラズマ実験

- ・2月8日：軽水素による機器の動作確認、調整開始
- ・3月7日：重水素実験開始
- ・7月7日：重水素実験終了
- ・8月3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予定どおり終了)

- ・実験延べ日数：100日
- ・プラズマ生成回数：約13,000回

### 今後の予定

メンテナンス、改造期間を経て第20サイクル実験は平成30年10月上旬開始予定

13/31



## 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)
  - 前半6年間：  $2.1 \times 10^{19}$  個/年(370億ベクレル)
  - 後半3年間：  $3.2 \times 10^{19}$  個/年(555億ベクレル)
- ・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)
  - $2 \times 10^{-4}$  ベクレル/cm<sup>3</sup>(法令の25分の1)
- ・アルゴン41濃度(3月平均値)  $5 \times 10^{-4}$  ベクレル/cm<sup>3</sup>(法令値)

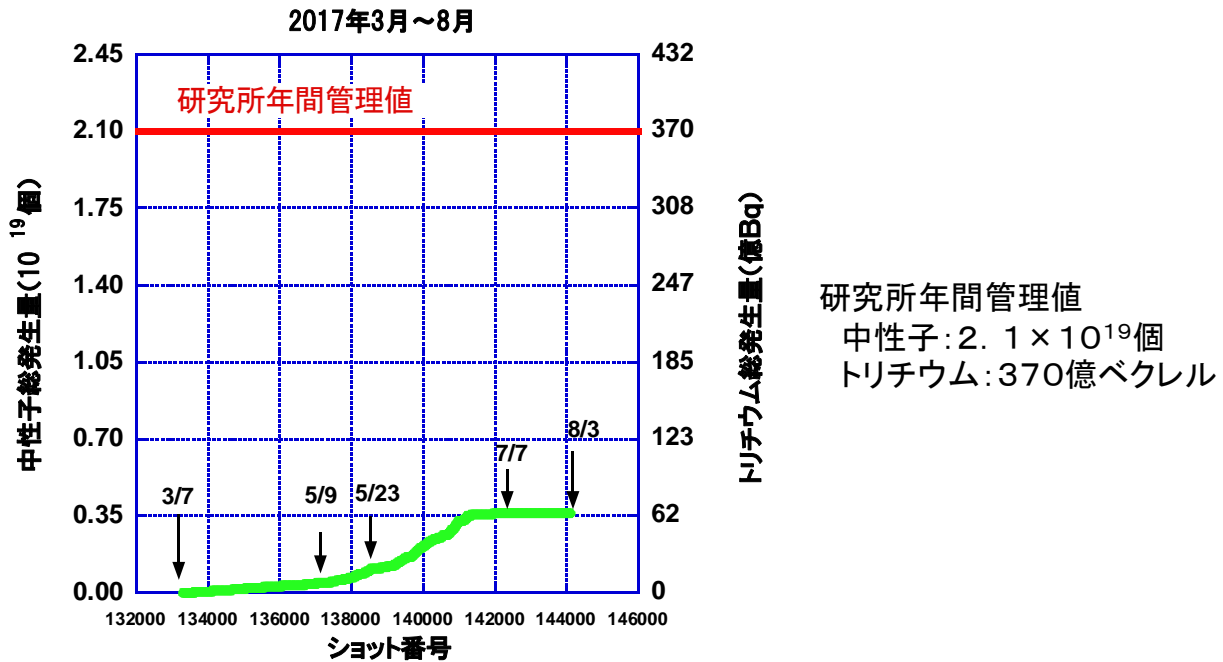
### ○排水

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

14/31



## 第19サイクル実験における 中性子及びトリチウムの発生量



第19サイクル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17.3%でした。

15/31



## 重水素実験情報の公開

ホームページ(<http://sewhite.nifs.ac.jp/quick/>)上に、中性子総発生量、トリチウム総発生量、敷地境界線量(中性子線、ガンマ・エックス線の合計)、排気中トリチウム濃度の速報値を公開しています。

### 重水素実験情報公開ページ

速報値

第19サイクルプラズマ実験期間は終了いたしました

中性子総発生量：研究所管理値；年間 $2.1 \times 10^{19}$ 個 本実験計画期間中の発生量：管理値の <b>17.3%</b>	2017年8月3日現在 (積算期間:2017年3月6日～2017年8月3日)
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 <b>17.3%</b>	2017年8月3日現在 (積算期間:2017年3月6日～2017年8月3日)
敷地境界線量(中性子線、 $\gamma(x)$ 線の合計)：研究所管理値；年間50uSv 本実験計画期間中の積算線量：管理値の <b>0.5%</b>	2017年8月3日現在 (積算期間:2017年3月6日～2017年8月3日)
排気中トリチウム濃度：研究所管理値(3月平均)； $2 \times 10^{-4}$ Bq/cm <sup>3</sup> トリチウム濃度：管理値の <b>0%</b>	2017年8月29日現在 (積算期間:2017年7月1日～2017年8月7日)

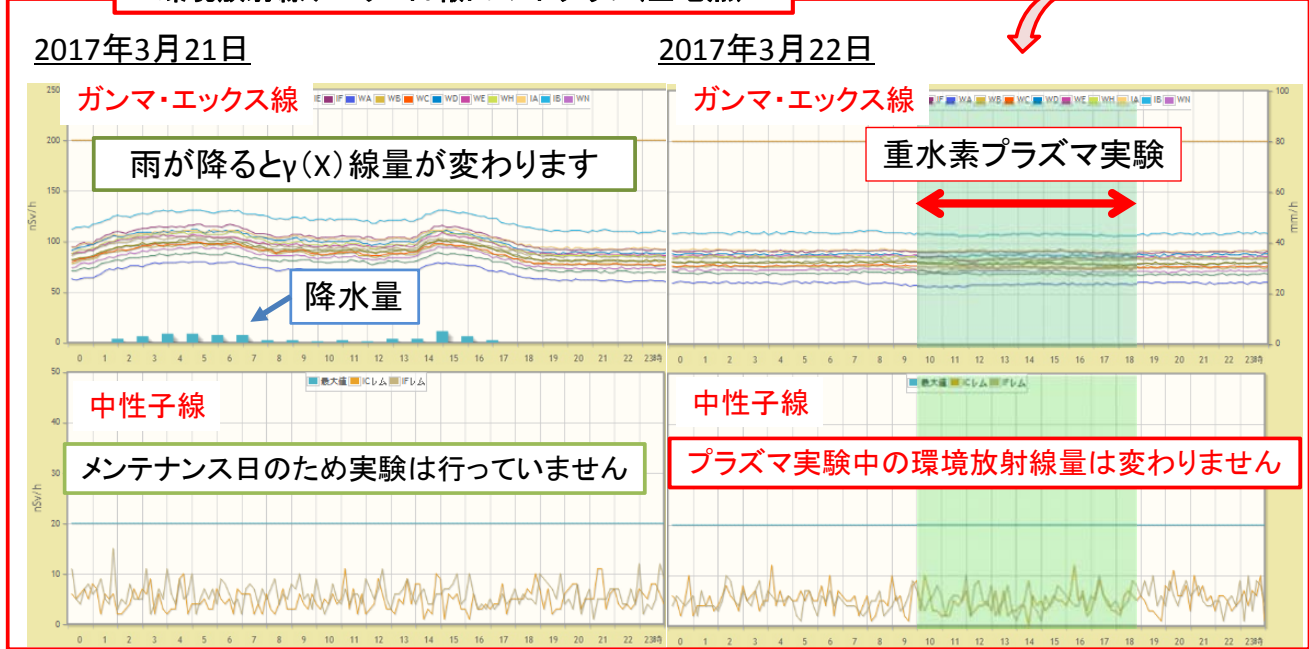
16/31



- ・ 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(<https://sewebserv.nifs.ac.jp/map.php>)上に公開しています。

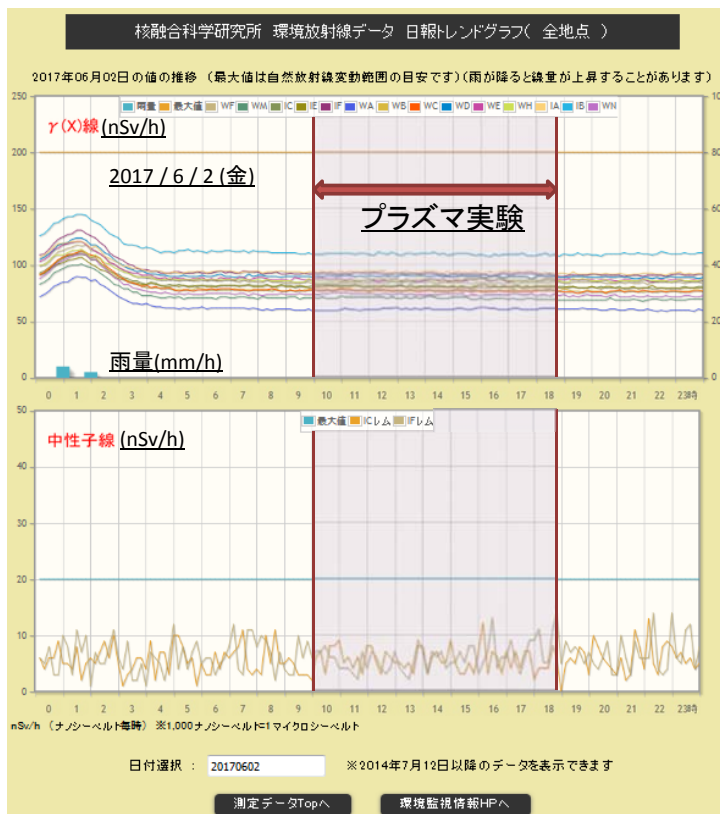


## 環境放射線データ 日報トレンドグラフ(全地点)



# RMSAFEによる環境放射線のリアルタイム表示

## ● RMSAFE測定例



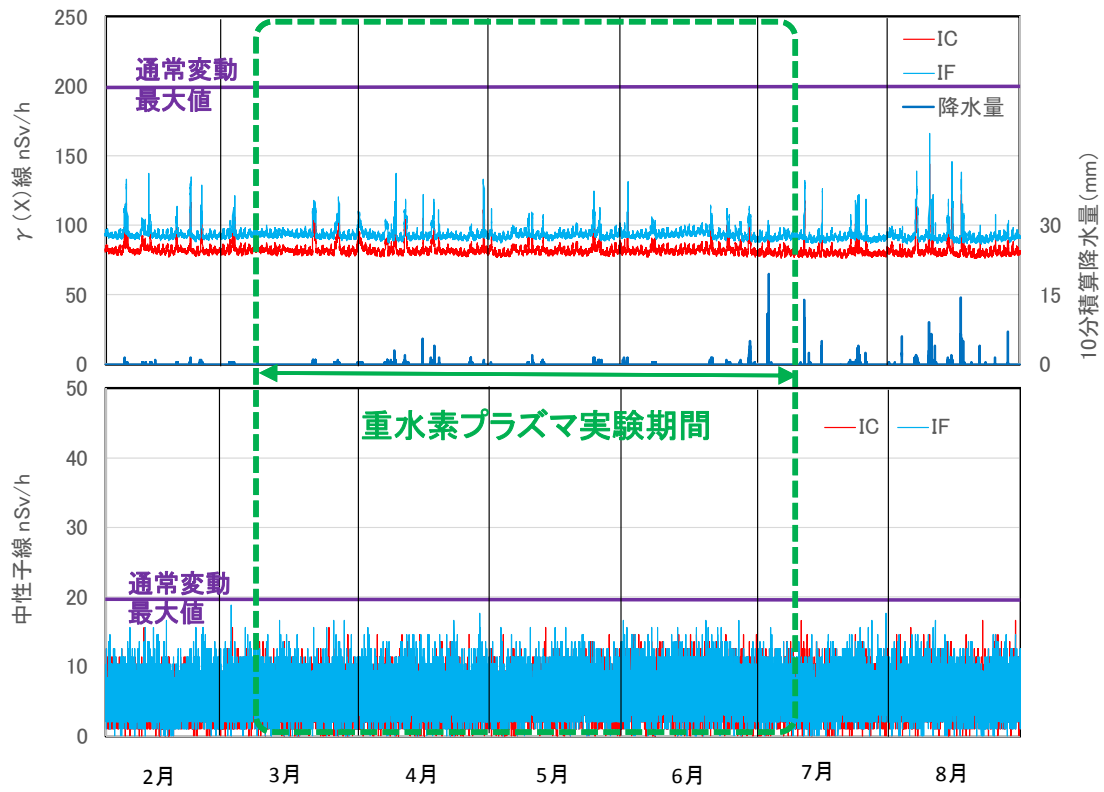
夜間の降雨による $\gamma(X)$ 線の増加が観測されました。  
⇒ プラズマ実験を実施した時間帯で線量増加は観測されていません。



重水素実験期間に観測された放射線量( $\gamma(X)$ 線、中性子線)は、これまでに観測しています**自然放射線量の変動範囲内**でした。

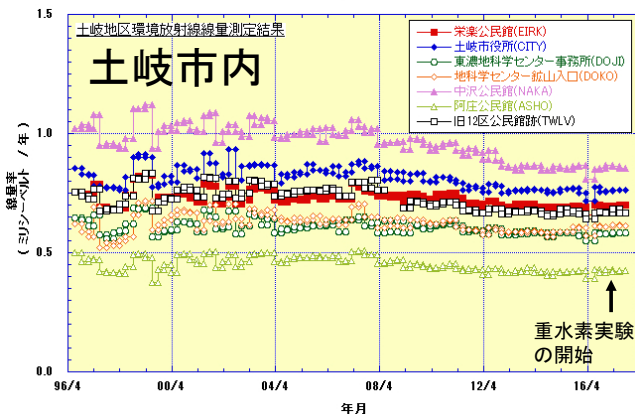
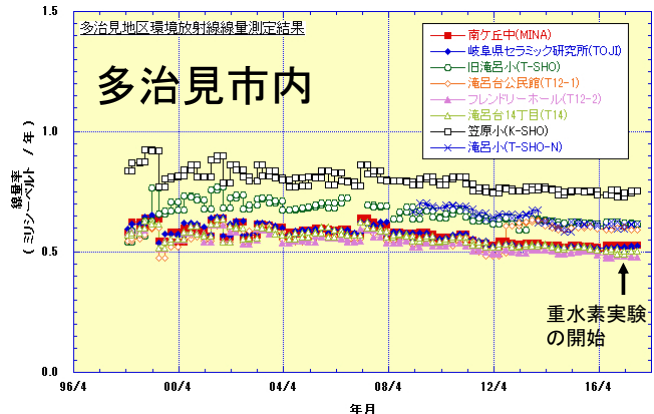
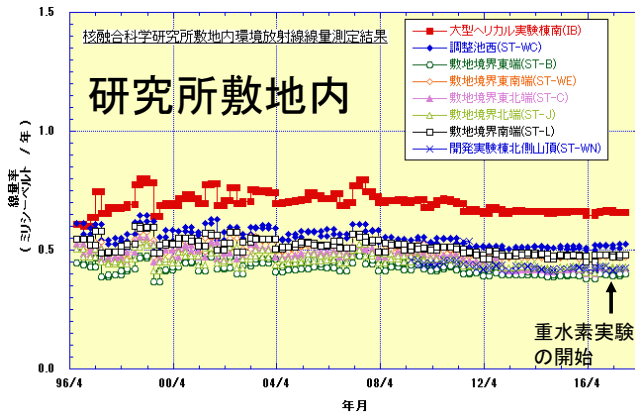
環境放射線データ: <https://sewebserv.nifs.ac.jp/past.php>

- RMSAFE測定結果: 2017年2月～8月(10分値)



## 土岐市、多治見市、研究所における環境放射線量の監視結果

- 環境放射線量



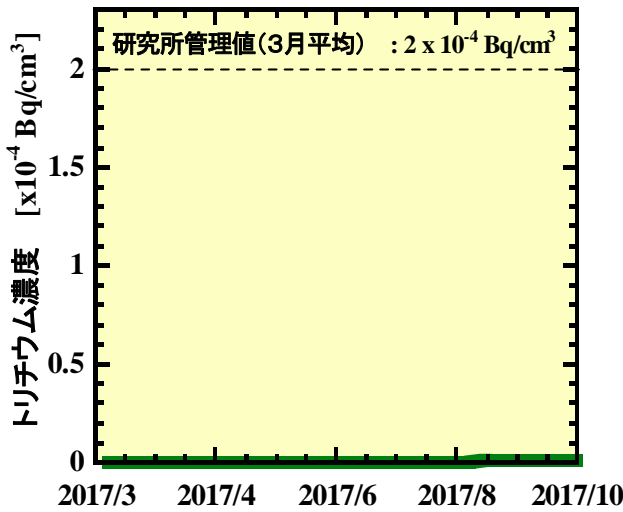
研究所敷地内、土岐市内及び多治見市内における環境放射線量には、重水素実験に起因する上昇傾向は認められませんでした。



# 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月平均値) :  $5 \times 10^{-3}$  Bq/cm<sup>3</sup>



### 排気塔からのトリチウム 積算放出量(2017年3月~10月)



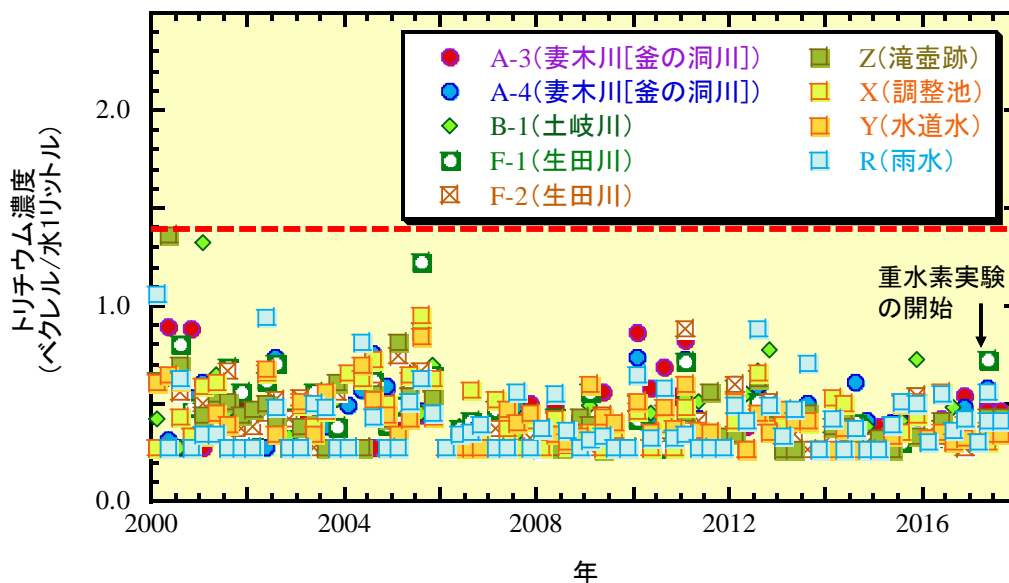
排気塔から放出されたガス中のトリチウムの濃度は最大でも研究所管理値の200分の1未満でした。

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十分に下回る値でした。



# 放射線量の監視結果

## 環境水中トリチウム濃度



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。

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

LHDから排出されたトリチウムは、トリチウム除去装置で水として回収しました。



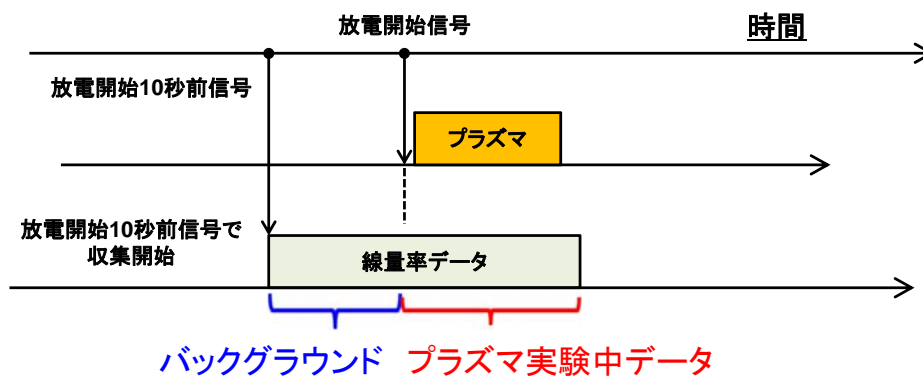
トリチウム除去装置(排気ガス処理システム)

重水素実験開始後に保管していますトリチウム含有水は、10月20日時点で約350リットルです。

23/31

安全監視委員会での議論に基づき、LHD実験に同期してRMSAFEデータを取得

### RMSAFEシステムおよびデータ収集の動作概要

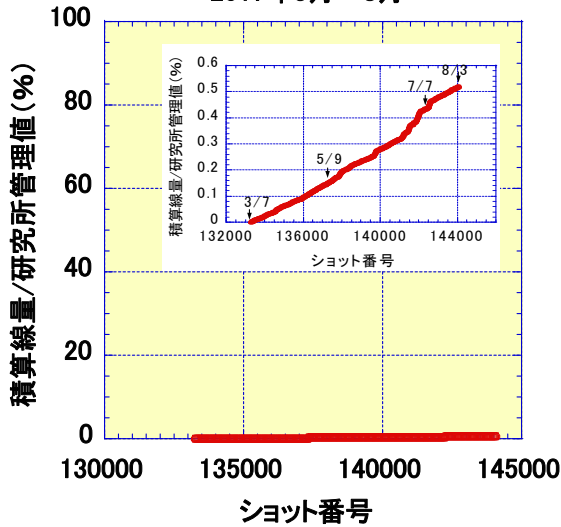


- 実験開始10秒前からデータを取得、このデータからバックグラウンド線量率を評価し、プラズマ実験中のデータから差し引く
- 速報値では安全側の評価をするために、バックグラウンドを差し引いて、負の値となったものはゼロとして積算

24/31

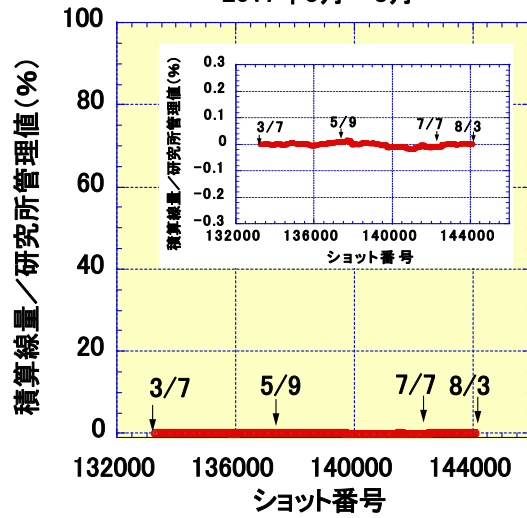
## 速報値

2017年3月～8月



## 確定値

2017年3月～8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 $0.0002 \pm 0.0028\%$

25/31

## 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19サイクルプラズマ実験期間は終了いたしました

#### 中性子総発生量

中性子総発生量：研究所管理値；年間 $2.1 \times 10^{19}$ 個  
本実験計画期間中の発生量：管理値の**17.3%**

#### 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**17.3%**

#### 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50uSv  
本実験計画期間中の積算線量：管理値の**0.5%**

#### 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）； $2 \times 10^{-4}$ Bq/cm<sup>3</sup>  
トリチウム濃度：管理値の**0%**

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

2017年8月3日現在  
(積算期間:2017年3月6日～2017年8月3日)

**研究所管理値の17.3%**

2017年8月3日現在  
(積算期間:2017年3月6日～2017年8月3日)

2017年8月3日現在  
(積算期間:2017年3月6日～2017年8月3日)

**研究所管理値を大幅に下回る**

2017年8月29日現在  
(積算期間:2017年7月1日～2017年8月7日)

重水素実験情報公開ページ: <http://sewhite.nifs.ac.jp/quick/>

26/31

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 (m3)	測定日		測定結果	
		1回目	2回目	β線測定	γ線測定
				液体シンチレーション計数装置	オートウェル
3月31日	5	3月16日	3月25日	ND	ND
4月27日	5	4月10日	4月12日	ND	ND
5月11日	5	5月1日	5月1日	ND	ND
5月25日	5	5月22日	5月23日	ND	ND
6月14日	5	6月7日	6月7日	ND	ND
6月30日	5	6月26日	6月26日	ND	ND
7月7日	4	7月3日	7月4日	ND	ND
7月18日	5	7月10日	7月10日	ND	ND
7月24日	9	7月18日	7月18日	ND	ND
7月31日	5	7月24日	7月24日	ND	ND
8月3日	7	7月31日	8月2日	ND	ND
8月7日	7	8月7日	8月7日	ND	ND
総排水量	67	検出下限値		~0.004 (Bq/cm <sup>3</sup> )	~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/cm<sup>3</sup>



貯留槽



排水モニタ



液体シンチレーション計数装置

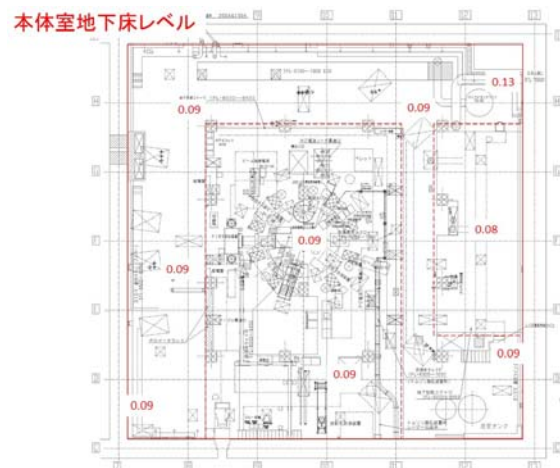
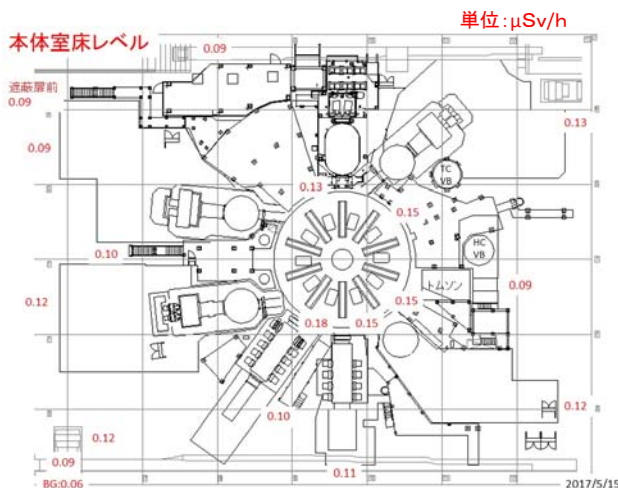


オートウェル

## 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(5/15)





# 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(放射線障害防止法、同法施行令等)
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. 研究所全員で防災訓練を実施しています。  
(平成28年9月30日、平成29年11月6日(予定))
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。(平成29年2月10日、8月2日)
5. 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消火訓練  
報告事項を記録する様子



# 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(平成18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(12年間でのべ5,130名)
  - ・平成29年度:3市合計23会場303名(土岐市7会場127名、多治見市15会場148名、瑞浪市1会場28名)
- 市民学術講演会の開催(年2回、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
- 研究所オープンキャンパスの開催(毎年2,000名を超えるご来場)
  - ・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
- 随時の見学受付(平成28年度4,500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プラズマくんだよりの隔月発行など



市民説明会の様子



市民学術講演会の様子



プラズマくんだより



オープンキャンパスポスター



## 平成30年度以降のLHDプラズマ実験スケジュール(予定)

月	8	9	10	11	12	1	2	3
使用ガス			重水素ガス			軽水素ガス		
放射線障害防止法に関わる管理区域設定	放射線発生装置使用のための管理区域 (通年)							
装置と加熱機器の運転状態	コイル冷却準備		コイル冷却	励磁試験				コイル昇温
	LHD真空排気							
	プラズマ実験							

◆ LHD真空容器真空引き: 8月中旬～3月上旬

◆ 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: 10月上旬～1月上旬

➤ 軽水素ガスを用いた実験:

✓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。