

LHD実験放射線管理年報

(2023年4月1日～2024年3月31日)

2024年9月

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 安全衛生推進センター

目 次

1. はじめに	1
2. LHD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の安全管理計画<改訂版>に基づく研究所管理値...	2
3. LHD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
3-2. 環境放射線の監視	4
4. LHD実験における放射線監視結果	
4-1. LHD実験に起因する敷地境界線量（年間）	5
4-2. 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）	6
4-3. 排水管理	7
4-4. トリチウム含有水の発生量と引渡し	8
4-5. まとめ	8
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	9
5-1-1. 登録者数	9
5-1-2. 教育訓練	9
5-2. 法令に基づく健康診断	9
5-3. 個人線量管理	9
6. その他	
6-1. 環境水中トリチウム濃度の推移	11
6-2. 環境放射線量の推移	12
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	14

1. はじめに

自然科学研究機構核融合科学研究所（以下、「研究所」）は、将来の基幹エネルギー源として期待されている核融合発電の実現を目指して核融合プラズマをはじめとする学術研究を推進しています。そのため、世界最大級の超伝導コイルを有する大型ヘリカル装置（以下、「LHD」）において、1998年4月より軽水素ガスを用いた実験を実施しました。LHDにおける重水素実験（以下、「LHD重水素実験」）については、2013年3月の岐阜県・3市（土岐市、多治見市、瑞浪市）との「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」（以下、「協定書等」）の締結を受けて、「大型ヘリカル装置における重水素実験の安全管理計画<改訂版>」（以下、「安全管理計画」）に基づき準備を進め、2017年3月に開始し、2022年12月に終了しました。この間、合計6回の重水素ガスを用いた実験サイクルを実施しました。LHD重水素実験の実施において必要な施設・機器や安全管理体制等については、LHD重水素実験実施のための準備を含めて、その整備状況を研究所外の第三者により構成された「核融合科学研究所重水素実験安全評価委員会」（以下、「安全評価委員会」）において、その都度、ご確認いただきました。

2023年度からは、LHDでは重水素ガスを用いずに軽水素ガスやヘリウムガス等を用いた学術研究を中心とした実験（以下、「軽水素実験」）を実施してきております。LHDは、重水素実験の開始に伴って2017年3月6日より「放射性同位元素等の規制に関する法律」及び、その関連する法令（以下、「RI規制法等」）に基づき、LHDは放射線発生装置（プラズマ発生装置）となりました。重水素実験の終了に伴いプラズマ発生装置としての条件を満たさなくなったため、放射線発生装置（プラズマ発生装置）から除外する申請を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。よって、現在、LHDは放射線発生装置ではありません。一方で、LHDには、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（以下、「HI-BP」）があり、この装置の一部にコッククロフト・ワルトン型加速装置が使用されており、この加速装置がRI規制法等に基づく放射線発生装置として位置づけられているため、LHDが設置されている大型ヘリカル実験棟の本体室等には同法令に基づく管理区域を引き続き設定し、適切な管理を行って参ります。

この放射線管理年報は、2023年4月1日から2024年3月31日までのLHD実験に係る管理の状況や放射線測定結果等についてまとめたものです。ご高覧いただければ幸いです。

LHD重水素実験を安全に実施し、数多くの成果を上げることができたのは、土岐市をはじめとする地域の方々のご理解・ご支援の賜物であると思っております。この場を借りて、厚くお礼申し上げます。LHDでは引き続き2025年度に軽水素実験を実施する予定です。今後ともご支援の程をどうぞよろしくお願い申し上げます。

2024年9月18日

安全衛生推進センター長 長壁 正樹

2. LHD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の安全管理計画<改訂版>に基づく研究所管理値

大型ヘリカル装置における重水素実験の安全管理計画<改訂版>に基づくLHD重水素実験における研究所管理値は、以下のとおりである。既に重水素実験が終了しているため新たな中性子及びトリチウム、アルゴン41の発生は無いが、敷地境界線量及び排気（アルゴン41を除く）、排水の濃度管理を継続している。

○中性子及びトリチウムの総発生量（年間）

- ・中性子発生量 2.1×10^{19} 個/年
- ・トリチウム発生量 37 GBq（中性子発生量から評価）

○敷地境界線量

- ・50 μ Sv/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） 2×10^{-4} Bq/cm³（法令値*の25分の1）
- ・アルゴン41濃度（3月平均） 5×10^{-4} Bq/cm³（法令値*）

○排水

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

*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）

注1：1 GBq = 10億Bq

注2：3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。

（参考）

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）（抜粋）
第14条

3 規則第19条第1項第2号イ及びロ並びに第5号イ及びロに規定する排気中若しくは空気中又は排液中若しくは排水中の放射性同位元素の濃度限度は、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濃度が第1項各号に規定する濃度とする。

3. LHD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

研究所には労働安全衛生法に基づく職場の安全衛生管理を実行する組織として、10の専門分野毎の室からなる安全衛生推進センターがある。安全衛生推進センターは、研究所の組織改編に伴い、LHD重水素実験の最終年度にあたる2022年度までの安全衛生推進部の機能を引き継ぐ形で、2023年度に設置された。放射線管理室は、安全衛生推進センターの中で研究所の放射線安全に関する測定、教育訓練、記録などの業務を担当し、放射線管理室長、管理区域責任者、環境放射線管理責任者等で構成される。日常の管理業務に対応するため、制御棟1階安全環境監視室に放射線管理室の窓口を設置し、各種届出に対応している。また、放射線管理室は、放射線総合監視システムの管理・点検、及び同システムによる管理区域の監視を行うとともに、放射線業務従事者の登録に関する事務、登録に必要な新規あるいは更新講習会等の教育訓練の開催及び個人線量管理などの放射線管理業務を実施している。図3-1. 1に2023年度における研究所における放射線安全管理組織を示す。なお、安全評価委員会は重水素実験の終了に伴い、LHDがRI規制法等に基づく放射線発生装置に該当しなくなったことを考慮の上、2024年1月19日の第25回開催を最後に、その任務を終了した。今後の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その機能を移すこととした。このことについては、安全評価委員会（第25回）における審議にて承認いただき、了承された。また、同年3月25日に開催された岐阜県、土岐市、多治見市及び瑞浪市が共同設置する核融合科学研究所安全監視委員会（以下、「安全監視委員会」）にて報告し、了承された。

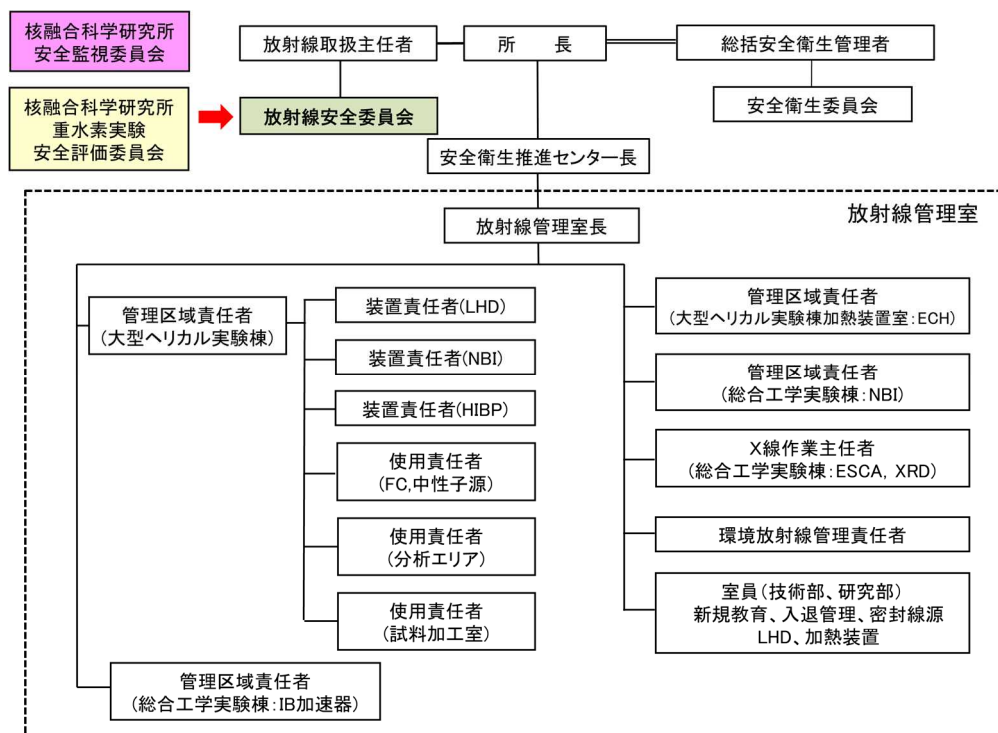


図3-1. 1 核融合科学研究所放射線安全管理組織

3-2. 環境放射線の監視

排気塔におけるトリチウム濃度（3月平均）、及び排気塔からのトリチウム放出量（年間）については、排気塔から排気を採取し、低バックグラウンド液体シンチレーション計数装置を用いてトリチウムの分析を行うことで評価した。

研究所の敷地内及び敷地境界の放射線量を把握するため、放射線モニタリングシステム（RMS A F E）を運用している。環境放射線量を測定する本システムの室外モニタリングポストの配置を図3-2. 1に示す。なお、重水素実験の終了に伴い、敷地境界のWA, WB, WC, WD, WE, WF, WH, WM, WNの9か所を除き、2023年度末に測定を終了した。本件についても、安全評価委員会における審議及び安全監視委員会への報告の上、両委員会にて了承された。

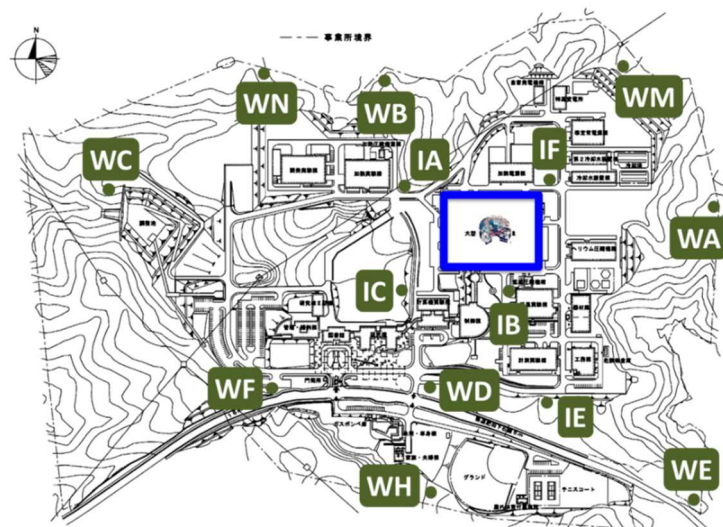


図3-2. 1 RMS A F Eの室外モニタリングポスト配置図

4. LHD実験における放射線監視結果

4-1. LHD実験に起因する敷地境界線量（年間）

LHD重水素実験は終了したが、2024年3月に実施したLHD軽水素実験に伴って敷地境界において有意な放射線が発生していないことを正確に計測するため、プラズマ実験開始前からデータを取得し、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いた。RMSAFEのICポストで測定した値をもって敷地境界線量とする。図4-1. 1に、RMSAFEのICポスト地点、及びLHD実験に起因する敷地境界線量の評価のためのデータ収集システム動作概要を、図4-1. 2に、第25サイクル実験期間におけるRMSAFEによる敷地境界積算線量の推移をそれぞれ示す。表4-1. 1に第25サイクル実験期間のLHD軽水素実験開始以降の敷地境界積算線量の研究所管理値（年間）に対する割合を示す。LHD軽水素実験に起因する敷地境界線量の値としては、 $0.00 \pm 0.02 \mu\text{Sv}$ であり、研究所管理値（年間）に対する敷地境界積算線量の割合は、 $0.00 \pm 0.04\%$ であった。

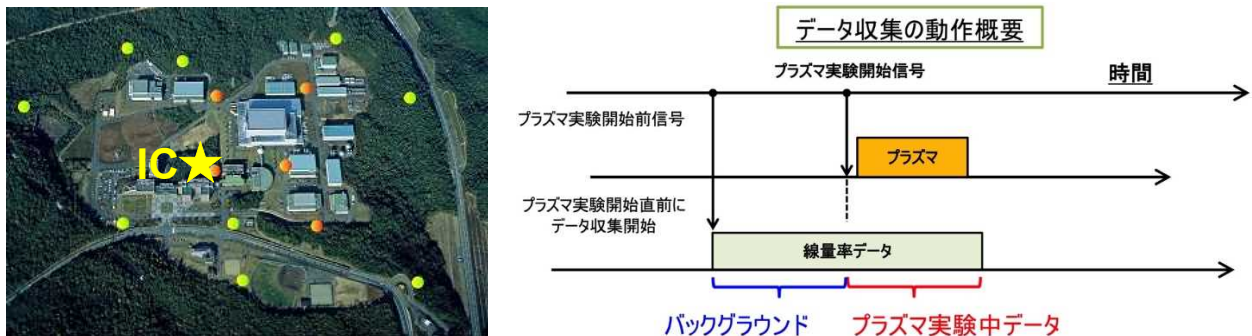


図4-1. 1 RMSAFEのICポスト地点（左図）、及びLHD実験に起因する敷地境界線量の評価のためのデータ収集システム動作概要（右図）

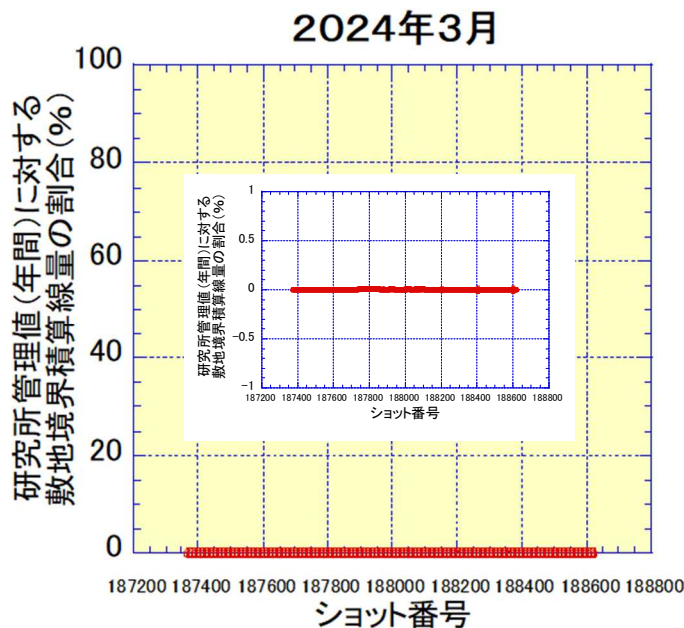


図4-1. 2 第25サイクル実験期間のLHD軽水素実験開始以降のRMSAFEによる敷地境界積算線量の推移

表 4-1. 1 第 2 5 サイクル実験期間の LHD 軽水素実験開始以降の敷地境界積算線量の研究所管理値（年間）に対する割合

	研究所管理値（年間）＊	研究所管理値（年間）に対する割合（％）
敷地境界線量	50 μ S v	0.00 $\pm$ 0.04

*法令値（1 m S v/年）の 20 分の 1

4-2. 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）

表 4-2. 1 に、排気塔からのトリチウム積算放出量（年間）、及び表 4-2. 2 に、排気塔における排気中トリチウム濃度（3 月平均）のそれぞれ研究所管理値に対する割合を示す。また、図 4-2. 1 に、排気塔からのトリチウム積算放出量（年間）、及び排気塔におけるトリチウム濃度（3 月平均）の推移を示す。排気塔からのトリチウム積算放出量（年間）は、0.07 GBq であり、研究所管理値（年間）の 1.9 %であった。排気塔から放出された排気中のトリチウム濃度は最大でも 0.005×10^{-4} Bq/cm³（3 月平均）であり、研究所管理値（3 月平均）の 0.3 %であった。

なお、排気塔は 1 週間の積算測定のため、2023 年度については 2023 年 3 月 27 日から 2024 年 4 月 1 日の期間とした。

表 4-2. 1 排気塔からのトリチウム積算放出量（年間）の研究所管理値（年間）に対する割合（2023 年 3 月 27 日～2024 年 4 月 1 日）

	研究所管理値（年間）	研究所管理値（年間）に対する割合（％）
トリチウム積算放出量	3.7 GBq	1.9

表 4-2. 2 排気塔における排気中トリチウム濃度（3 月平均）の研究所管理値（3 月平均）に対する割合

	研究所管理値（3 月平均）＊	研究所管理値（3 月平均）に対する割合（％）
排気塔トリチウム濃度	2×10^{-4} Bq/cm ³	2023 年 4 月～2023 年 6 月 0.3
		2023 年 7 月～2023 年 9 月 0.2
		2023 年 10 月～2023 年 12 月 0.1
		2024 年 1 月～2024 年 3 月 0.1

*法令値（ 5×10^{-3} Bq/cm³）の 25 分の 1

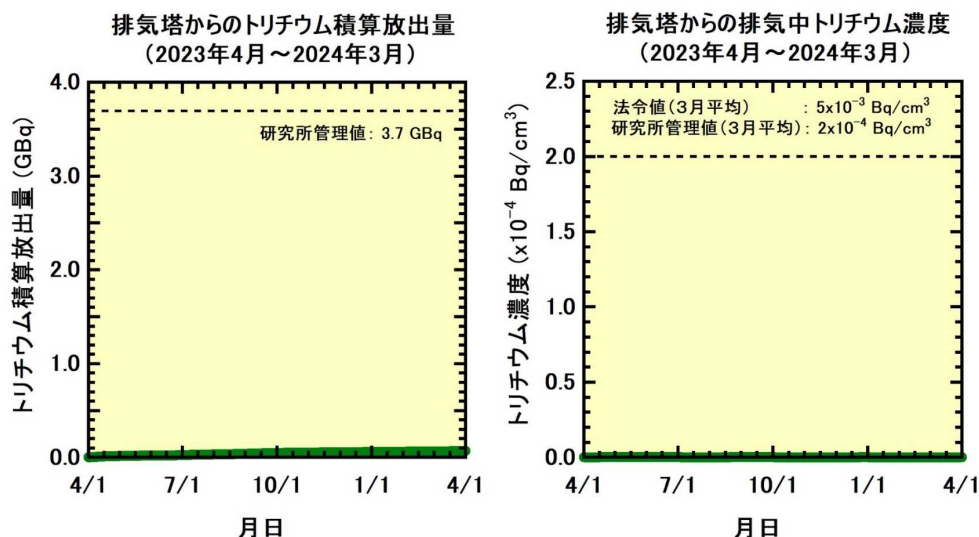


図4-2. 1 排気塔からのトリチウム積算放出量（年間）（左図）、及び排気塔における排気中トリチウム濃度（3月平均）（右図）の推移

4-3. 排水管理

大型ヘリカル実験棟管理区域の空調設備から排出されるドレン水等については、通常、トリチウムが混入されることはないが、トリチウム濃度及び γ 線検査を行った上で排水する。トリチウム（ β 線測定）は、液体シンチレーション計数装置を用いて測定を行った。 γ 線は、オートウェルガンマシステムを用いて測定を行った。表4-3. 1に、大型ヘリカル実験棟空調ドレン水等の排水状況と β 線及び γ 線測定値（3月平均）を示す。排水中のトリチウム濃度（3月平均）は最大でも 0.0070 Bq/cm³であり、研究所管理値（3月平均）の1.2%であった。なお、 β 線測定結果が検出下限値以下（ND）となった場合は、検出下限値をもって3月平均とした。

表4-3. 1 大型ヘリカル実験棟空調ドレン水等の排水状況と β 線及び γ 線測定値（3月平均）

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) *
2023年4月～2023年6月	47	0.0021	ND
2023年7月～2023年9月	63	0.0048	ND
2023年10月～2023年12月	26	0.0070	ND
2024年1月～2024年3月	14	0.0061	ND
検出下限値		0.0017～ 0.0039	～12

* cpm：1分あたりの放射線計測回数

4-4. トリチウム含有水の発生量と引渡し

トリチウム除去装置で回収したトリチウム含有水の発生量と引渡し量は、表4-4. 1のとおりである。2023年度は0.7 m³を8月31日に、公益社団法人日本アイソトープ協会に引き渡した。

表4-4. 1 トリチウム除去装置で回収したトリチウム含有水の発生量と引渡し量

項目	水量 (m ³)	備考
初期量	1. 3 6	2022年度末の保留量
発生量	0. 9	トリチウム除去装置で回収した水量
引渡し量	0. 7	トリチウム濃度： 2. 6 k B q / c m ³ (8月31日)
保留量	1. 5 6	2024年3月31日時点

4-5. まとめ

LHD実験における放射線監視結果（2023年4月1日～2024年3月31日）を表4-5. 1にまとめる。監視結果はいずれも研究所管理値を大きく下回る値であった。

表4-5. 1 LHD実験における放射線監視結果のまとめ

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)
敷地境界線量	50 μ S v	0. 00 $\pm$ 0. 02 μ S v (0. 00 $\pm$ 0. 04 %)
排気塔からのトリチウム放出量	3. 7 G B q	0. 07 G B q (1. 9 %)
排気中トリチウム濃度 (3月平均)	2×10^{-4} B q / c m ³	$0. 005 \times 10^{-4}$ B q / c m ³ (0. 3 %) *
排水中トリチウム濃度 (3月平均)	0. 6 B q / c m ³	0. 0070 B q / c m ³ (1. 2 %) **

*最大値 (2023年4月～2023年6月)

**最大値 (2023年10月～2023年12月)

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

2023年度における大型ヘリカル実験棟管理区域での放射線業務従事者登録状況は、計254人（所内：143人（うち外国人7人）、所外：111人（うち外国人1人））、うち新規登録者は24人（所内9人、所外15人）であった。

5-1-2. 教育訓練

放射線業務従事者に対して2023年度に行われた教育訓練は、新規教育訓練（法定）が15回、受講者総数は30人（所内9人、所外21人）であった。更新教育（法定再教育）は、2022年度から2023年度への定期更新教育が1回（受講者総数151人）、録画視聴による追加の更新教育が7回（受講者総数11人）、オンライン録画視聴による講習受講者が93名、それぞれ実施した。その他の2023年度に実施した教育訓練は、密封されていない放射性同位元素取扱施設立入のための教育訓練が13回（23人）、真空ポート作業のための教育訓練が1回（13人）、真空容器内作業のための教育訓練が6回（21人）であった。なお、業務従事者登録者数と教育訓練受講者数の差は、業務従事者の中で、2023年度中に放射線業務を終了若しくは登録を解除した者があり、これら従事者の一部は2022年度の教育訓練のみの受講となっていること、その他出張等により2023年度の教育訓練を受講できなかった従事者が若干名あり、その者は2024年度以降の教育訓練受講の後に放射線業務に復帰することによるものである。

5-2. 法令に基づく健康診断

電離放射線障害防止規則及びR I 規制法等に基づく健康診断を、前期に137人、後期に141人が受診した。なお、本健康診断においても教育訓練と同様な理由で業務従事者登録者数と受診者数に差が生じている。

5-3. 個人線量管理

2023年度の個人実効線量（外部被ばく線量と内部被ばく線量の合算）分布を表5-3. 1に示す。外部被ばく線量は個人線量計を用いて測定した。内部被ばく線量は空気中放射性物質濃度を元に算出した。このうち女子にあっては3月ごとの線量管理も必要なため、内数として3月間の個人実効線量分布を併記した。

表 5-3. 1 2023 年度の個人実効線量分布

測定結果 単位：(人)

	1 年間の実効線量 (mSv)					
	5 以下	5 を超え 15 以下	15 を超え 20 以下	20 を超え 25 以下	25 を超え 50 以下	50 を超え るもの
所内者	143	0	0	0	0	0
所外者	111	0	0	0	0	0

測定結果 (女子) <内数> 単位：(人)

	3 月間の実効線量 (mSv)			
	1 以下	1 を超え 2 以下	2 を超え 5 以下	5 を超えるもの
2023 年 4 月～ 2023 年 6 月	所内：17 所外：1	0	0	0
2023 年 7 月～ 2023 年 9 月	所内：17 所外：1	0	0	0
2023 年 10 月～ 2023 年 12 月	所内：17 所外：1	0	0	0
2024 年 1 月～ 2024 年 3 月	所内：17 所外：1	0	0	0

6. その他

6-1. 環境水中トリチウム濃度の推移

研究所とその周辺において環境水を3カ月毎（2月、5月、8月、11月）に採取し、低バックグラウンド液体シンチレーション計数装置を用いてトリチウム濃度測定を行っている。環境水の採取地点と環境水中トリチウム濃度の推移を図6-1. 1に示す。LHD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あった。なお、春季の降水中トリチウム濃度が一時的に上昇しているが、これはスプリングピークという春季に降水中トリチウムが高くなる自然現象を示している。なお、環境水中のトリチウム濃度計測については、LHD重水素実験が終了したこと、及び重水素実験期間中に有意な環境水中のトリチウム濃度の上昇が観測されなかったことから、2024年度からは安全監視委員会と合同で行う年2回・5カ所（A-3、A-4、F-1、F-2、Z）のみの測定を行うことが安全評価委員会にてご審議いただき、安全監視委員会に報告して、両委員会にて了承された。

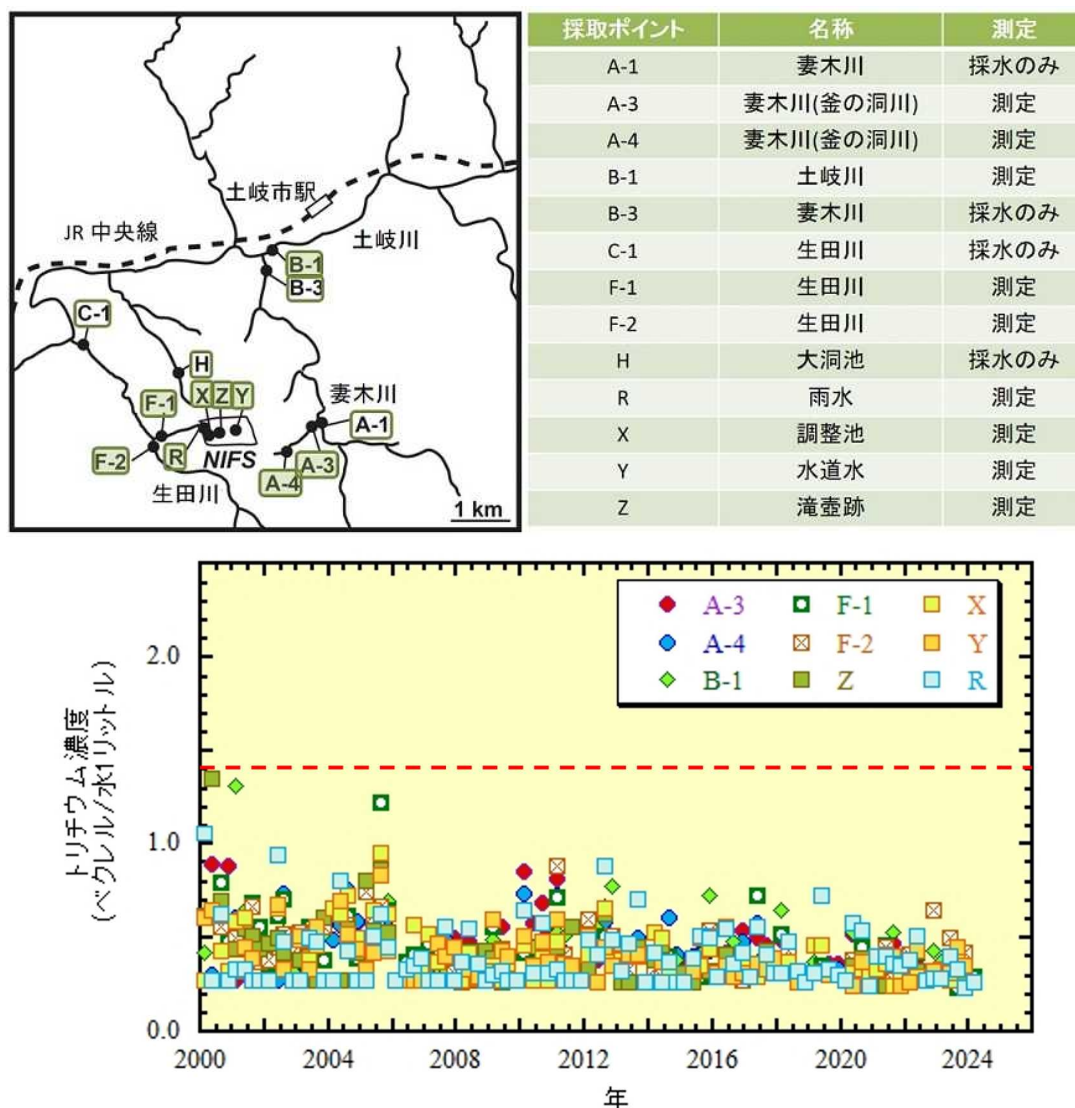


図6-1. 1 環境水の採取地点（上図）と環境水中トリチウム濃度の推移（下図）

(赤点線：２０００年～２０１６年までの変動範囲：検出下限値以下（ND）～１．４ Bq/ℓ)

6-2. 環境放射線量の推移

土岐市内、多治見市内、及び研究所敷地内にガラス線量計を設置して、環境放射線量の測定を３カ月毎（３月、６月、９月、１２月）に行っている。ガラス線量計の設置地点を図6-2. 1に示す。また、土岐市内、多治見市内、及び研究所敷地内における環境放射線量の推移を図6-2. 2に示す。LHD重水素実験に起因する環境放射線量の変化は認められなかった。なお、ガラス線量計を用いた本計測については、重水素実験期間中に有意な線量の増加が認められなかったこと、及び、LHD重水素実験が終了したことを踏まえて、２０２３年度末をもって終了することを安全評価委員会においてご審議いただき、安全監視委員会において報告して、両委員会にて了承された。



図6-2. 1 ガラス線量計の設置地点（左図：土岐市内及び多治見市内、右図：研究所敷地内）

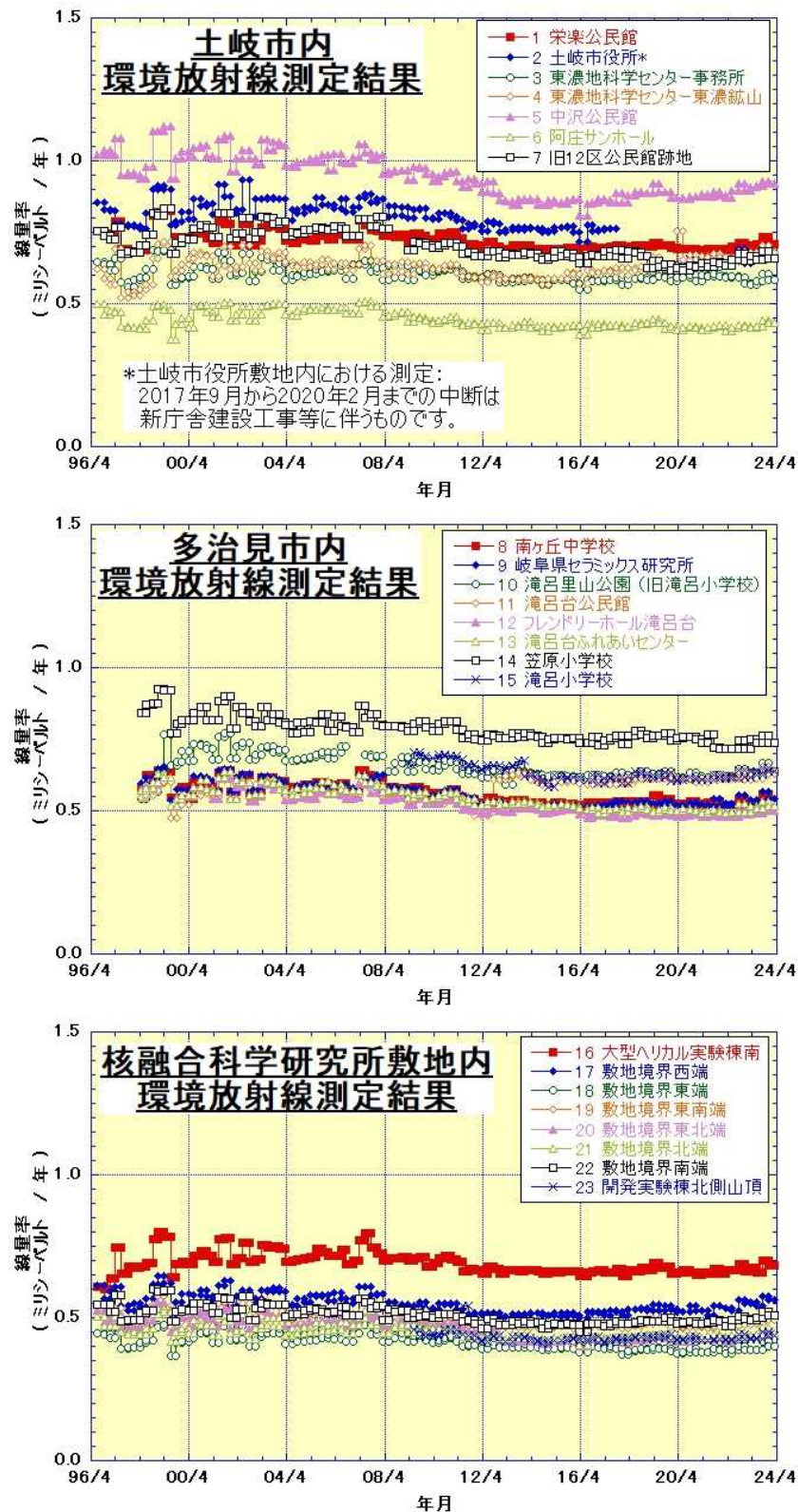


図6-2. 2 土岐市内（上図）、多治見市内（中図）、及び研究所敷地内（下図）における環境放射線量の推移

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

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は、LHD重水素実験が開始されるにあたって、研究所周辺における環境への影響を確認するため、2015年8月から以下のとおり研究所と環境中性子線量率、及び環境水中トリチウム濃度の測定を実施している。

この安全監視委員会と研究所の測定結果は、岐阜県のホームページ*で公開されている。

* <https://www.pref.gifu.lg.jp/page/14009.html>

○環境中性子線量率測定（LHD実験期間中とメンテナンス期間中の年2回、測定場所：図3-2. 2 のICポスト近傍）

第1回：2015年10月14日測定
第2回：2016年 3月 2日測定
第3回：2016年 7月27日測定
第4回：2016年11月30日測定
第5回：2017年 5月17日測定
第6回：2017年11月17日測定
第7回：2018年 5月15日測定
第8回：2018年11月16日測定
第9回：2019年 5月22日測定
第10回：2019年11月20日測定
第11回：2020年 9月 2日測定（新型コロナウイルス感染症の影響により、5月から9月に延期して実施）
第12回：2020年11月18日測定
第13回：2021年 5月19日測定
第14回：2021年11月17日測定
第15回：2022年 5月18日測定
第16回：2022年11月16日測定
第17回：2023年 5月17日測定
第18回：2023年11月15日測定

○環境水中トリチウム濃度測定（LHD実験期間中とメンテナンス期間中の年2回、採水場所：図6-1. 1上図のF-1、F-2、A-3、A-4、及びZ地点の5箇所）

第1回：2015年 8月 6日採水
第2回：2015年11月17日採水
第3回：2016年 5月24日採水
第4回：2016年11月24日採水
第5回：2017年 5月17日採水
第6回：2017年11月17日採水
第7回：2018年 5月15日採水
第8回：2018年11月16日採水
第9回：2019年 5月22日採水
第10回：2019年11月20日採水
第11回：2020年 5月20日採水
第12回：2020年11月18日採水
第13回：2021年 5月19日採水
第14回：2021年11月17日採水
第15回：2022年 5月18日採水

第16回：2022年11月16日採水
第17回：2023年 5月17日採水
第18回：2023年11月15日採水

以上