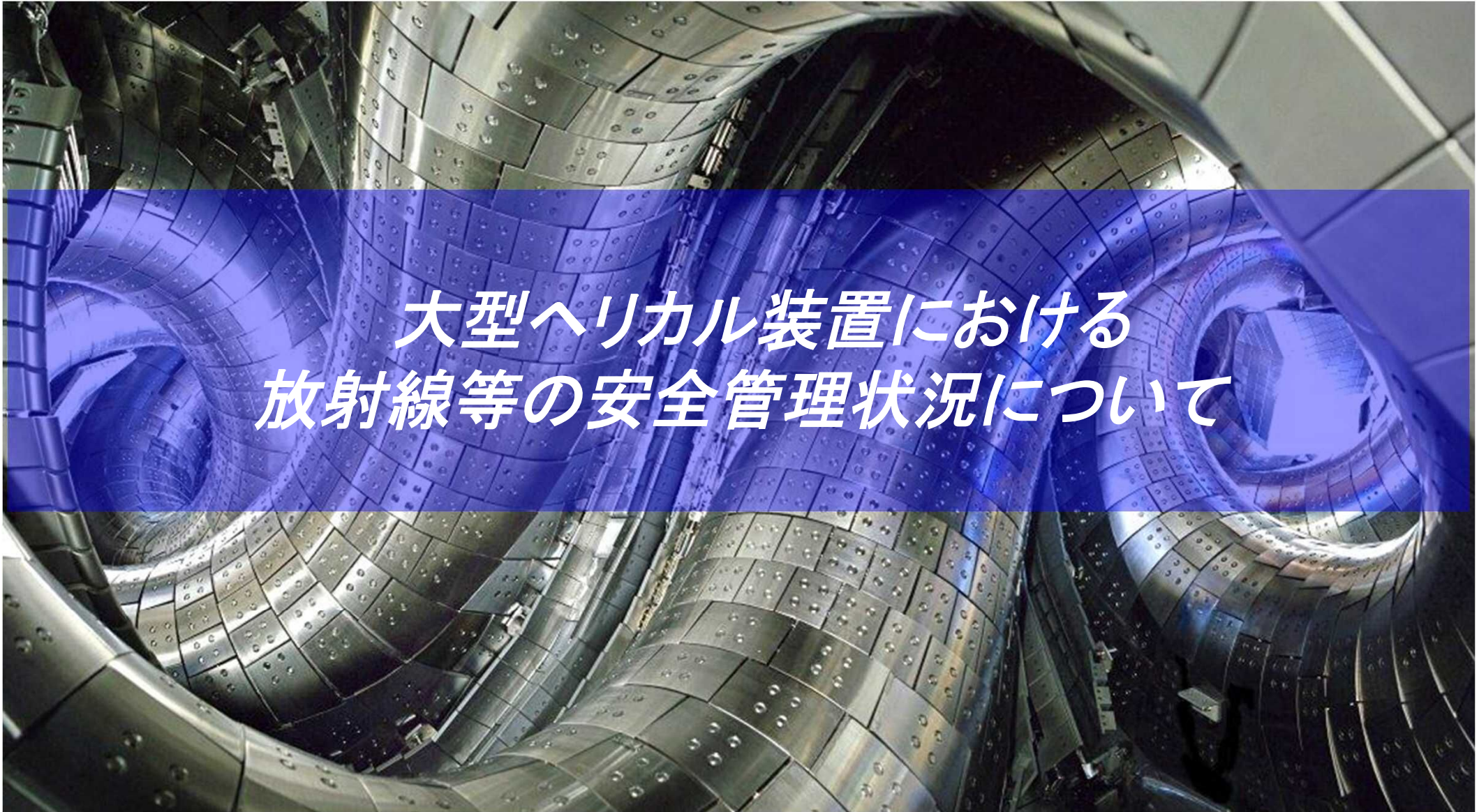


The background of the slide is a photograph of a large, complex helical structure, likely the internal components of a tokamak fusion reactor. The structure is made of many curved, metallic segments with visible rivets, creating a spiral pattern that recedes into the distance. A semi-transparent blue rectangular box is overlaid in the center of the image, containing the title text in white.

大型ヘリカル装置における 放射線等の安全管理状況について



放射線安全管理組織

核融合科学研究所
安全監視委員会

県・3市が設置し運営

放射線取扱主任者

放射線安全委員会

所 長

総括安全衛生管理者

安全衛生委員会

安全衛生推進センター長

放射線管理室長

放射線管理室

管理区域責任者
(大型ヘリカル実験棟)

装置責任者(LHD)

装置責任者(NBI)

装置責任者(HIBP)

使用責任者
(FC・中性子源)

使用責任者
(分析エリア)

使用責任者
(試料加工室)

管理区域責任者
(総合工学実験棟:IB加速器)

管理区域責任者
(大型ヘリカル実験棟加熱装置室:ECH)

管理区域責任者
(総合工学実験棟:NBI)

管理区域責任者(X線作業主任者)
(総合工学実験棟:ESCA・XRD)

環境放射線管理責任者
(研究所敷地内:RMSAFE)

教育訓練、入退管理、微量RI管理等

研究所の放射線等の管理基準値は下記のとおりになっています。

○敷地境界線量

- $50 \mu\text{Sv/年}$ (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月平均値) $2 \times 10^{-4} \text{ Bq/cm}^3$ (法令値の25分の1)

○排水

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

※ 1 GBq (ギガベクレル) = 10 億 Bq (ベクレル)



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したが、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ています。

・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。

・排気ガス処理システム(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した**。重水素実験期に使用した炭素板交換後の経過措置として2025年度のプラズマ実験に該当する期間は運用を継続します。

・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り、その結果、中性子による空気の放射化がなくなりました。このため、空気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おりません。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。

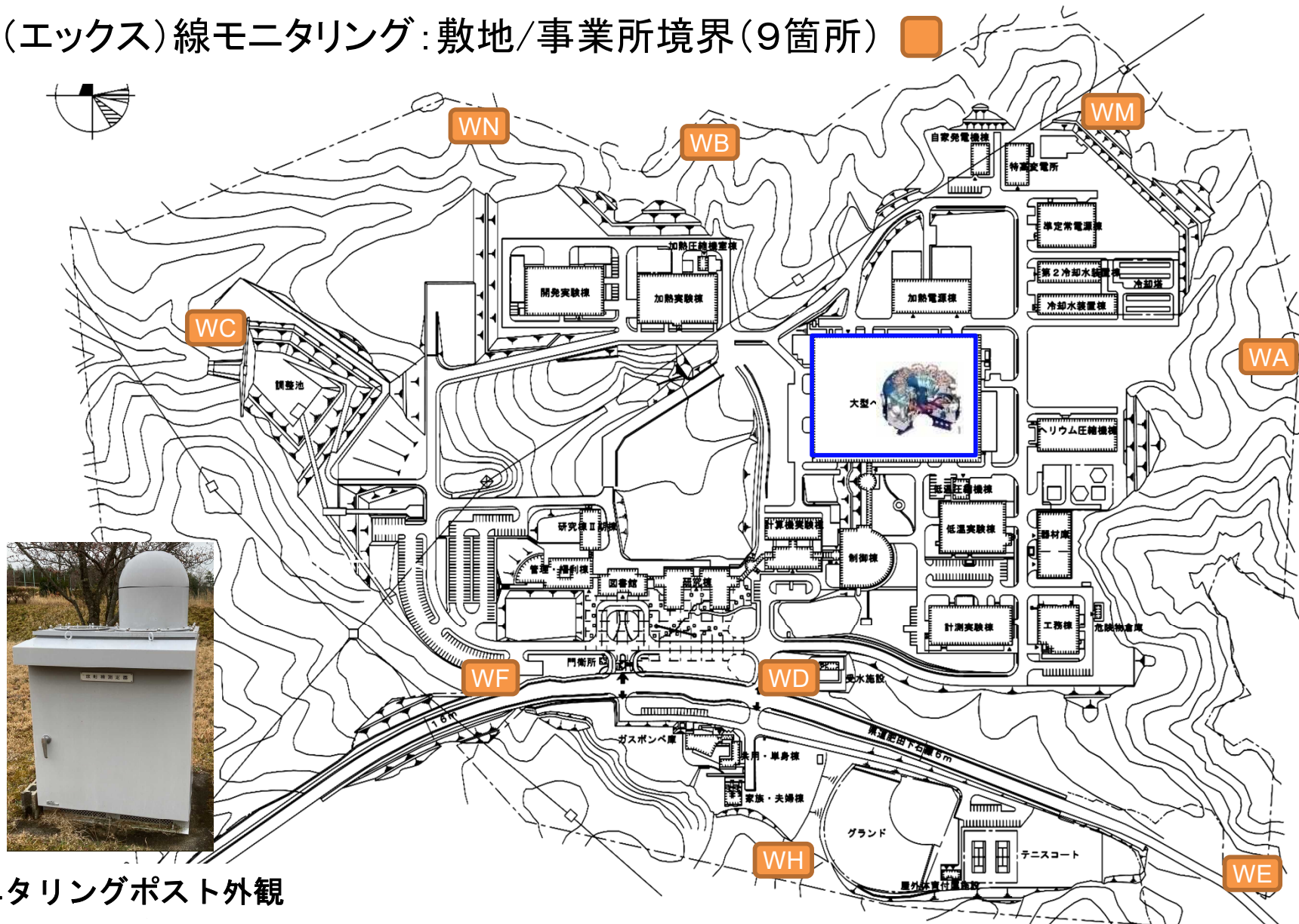
・排水管理

- 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、管理値(0.6 Bq/cm³[3月平均値])にしたがって監視を継続しています。

これらについては、安全評価委員会(第25回)及び安全監視委員会(第13回)においてご了承いただいております。

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) 

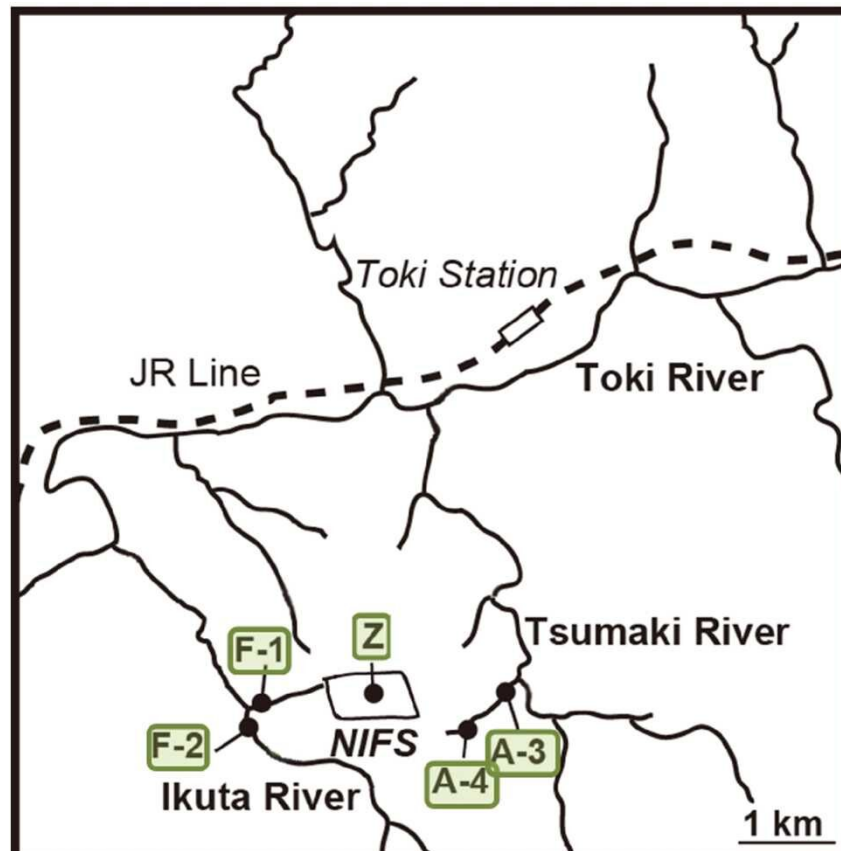


モニタリングポスト外観

2024年度の観測結果は、LHD実験放射線管理年報に記載のとおり、これまでの観測結果と同様に管理値に対して十分低い値でした。

安全監視委員会(第13回)における議論に基づき、2024年度より環境水の採取場所を5か所にしました。また、同委員会の議論に基づき、2024年度は炭素板の引き渡し前後に環境水の採取を実施しました。

- 引き渡し前:2024年11月20日(水)(これまでどおり、11月第3週水曜日)
- 引き渡し後:2025年1月17日(金)
- 採取場所(5か所):妻木川(A-3, A-4)、生田川(F-1, F-2)、滝壺跡(Z)



採取ポイント	名称	測定
A-3	妻木川(窯の洞川)	測定
A-4	妻木川(窯の洞川)	測定
F-1	生田川	測定
F-2	生田川	測定
Z	滝壺跡	測定

2024年度の観測結果は、LHD実験放射線管理年報に記載のとおり、これまでの観測結果と同様に過去の変動の範囲内でした。

➤ 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 ($D(d,p)^3\text{H}$) 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 ($D(d,p)^3\text{H}/D(d,n)^3\text{He}$) ~ 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します。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以下でした。

➤ 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。
- ✓ 排気ガス処理システム(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、令和6年10月7日時点における滞留量は9.3GBqとなりました。
- ✓ 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おり、炭素板の交換により滞留したトリチウムの多くを除去できることがわかっているため、2024年10月7日から12月18日の間に炭素板の交換作業を行いました。その結果、作業終了時点(12/18)での滞留量を評価したところ2.2GBq程度※となりました。

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] (分岐割合 ~ 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

※一般に市販されているトリチウムを蛍光材として用いたダイバーズウオッチ 2.4 個分。
研究所の年間放出量に関する管理値(3.7GBq)に対して十分に低い値



炭素板の取り出し・引き渡し工程

真空容器内に作業用足場を設置の上、炭素板の取り出し作業を実施しました。

炭素板の取り出しは2024年10月7日から12月18日の間に実施しました。これらの炭素板は、公益社団法人日本アイソトープ協会に引き渡す際に用いる容器に入れて、1月16日に同協会へ引き渡しました。

	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
真空容器内足場設置等		←→					
炭素板取り出し			←→ 10/7		→ 12/18		
引き渡し						● 1/16	
環境水採取				11/20 ●		● 1/17	

真空容器内に滞留しているトリチウムの量を、換気のため真空容器から排出されるガス(真空容器換気ガス)中の濃度から評価しました。真空容器内の空気中のトリチウム濃度を n_T [Bq/m³]、真空容器内の炭素板等の材料中に滞留するトリチウムの総量を σ [Bq]、真空容器内空気の換気速度を U [m³/week]、真空容器容積を V [m³]、真空容器内材料からのトリチウム放出率を k [week⁻¹]とすると、これらの間には下記の微分方程式※¹が成り立ちます。

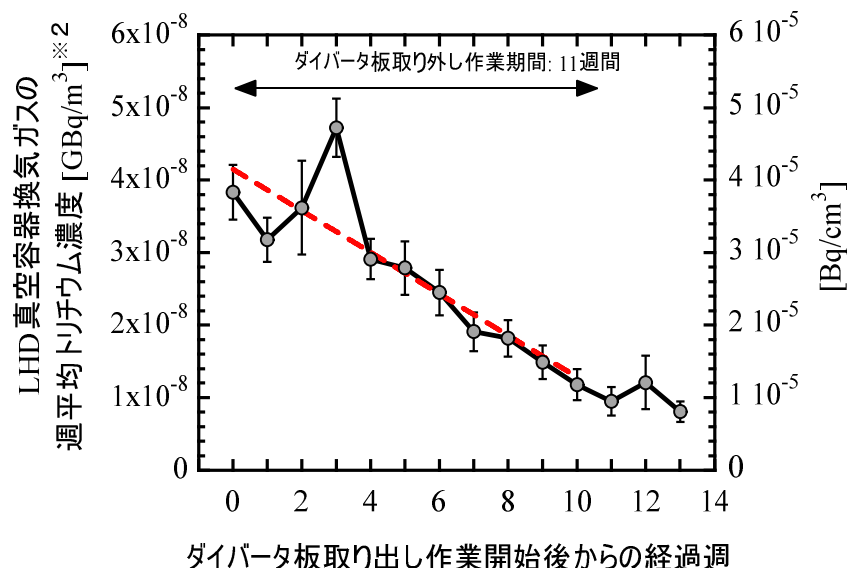
$$V \frac{dn_T}{dt} = -Un_T + k\sigma \text{ ---(1)}$$

V, U, k が一定、炭素板取り外し作業期間中の真空容器内トリチウム滞留量が一定の割合で減少する($\sigma(t) = \sigma_0 - \alpha t$)と仮定し、実際の V (255[m³]) 及び U (38,638[m³/week]) の値を考慮すると、 $t > 1$ [week]の領域における(1)式の近似解は、

$$n_T(t) \approx \frac{k}{U} (\sigma_0 - \alpha t) \text{ ---(2)}$$

となります。ここで $\sigma_0 = 9.3 \text{ GBq}$ 、 k 及び α は未知の値。

炭素板取り外し作業期間中の真空容器から排出される換気ガス中のトリチウム濃度の経時変化データに(2)式を当てはめて、 k 及び α を求めると、取り外し作業終了後の**滞留量は2.2[GBq]程度となり、研究所の年間放出量管理値(3.7[GBq])に比べて十分に低い値となる**ことが分かりました。



※¹ 室内の二酸化炭素の換気を検討する際に用いる手法と同じ
 ※² 10⁻⁸ [GBq/m³]は10⁻⁵ [Bq/cm³]に対応

また、炭素板取り外し後の**排気中のトリチウム濃度(1×10⁻⁵ [Bq/cm³])も、排気ガス処理システム(トリチウム除去装置)の入り口において研究所の管理値(2×10⁻⁴ [Bq/cm³])に対して十分に低い値**となっています。

なお、トリチウムの管理については、2025年4月21日から5月2日にメール審議開催された放射線安全委員会において、トリチウムを専門とする外部委員より「重水素実験にかかるトリチウムの管理について近いうちに収束させ、**重水素実験以前の放射線安全管理体制に戻すことが合理的**と考えます」とのご意見をいただいております。

第26サイクルLHDプラズマ実験(予定)

2023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ています。今年度の実験(第26サイクル)は9月下旬から12月下旬に実施する予定です。

なお、今年度の実験をもってLHDのプラズマ実験は終了する予定です。

	2025年												2026年		
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
装置の 運転状態	整備作業												整備作業		
								LHD真空容器排気							
								冷却	定常冷却			加温			
									プラズマ実験						

- ◆ LHD真空容器真空引き: 2025年8月中旬～1月下旬
- ◆ コイル冷却: 8月下旬～1月下旬
- ◆ プラズマ実験 : 9月下旬～12月下旬



南海トラフ地震臨時情報 が発表された時の対応



緊急時における地元自治体への連絡手段について

安全評価委員会(第25回)及び安全監視委員会(第13回)においてご了承いただきましたとおり、地元自治体への連絡手段を一部変更しました。

◆ 連絡手段の一部変更

	2023年度まで	2024年度から
【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※1</u>
③ ①、②いずれも不可	<u>派遣</u>	<u>派遣※2</u>
【執務時間外・休日】		
① 固定電話可※3	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※1</u>
③ ①、②いずれも不可	<u>派遣</u>	<u>派遣※2</u>

※1 スターリンク衛星を用いたインターネット接続バックアップ回線を導入。
基本的には、メールを用いて担当者に連絡する。MS Teamsを用いて連絡方法についても、研究所と土岐市の間で準備中(他の自治体についてもセキュリティポリシーとの支障が無ければ、適宜参加する。)

※2 災害の状況をみて、土岐市或いは多治見市の何れかに派遣し、自治体の災害ネットワークを介して情報を展開していただく

※3 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



スターリンク衛星を用いたインターネット接続の強化

大規模災害発生の際に研究所の通常のインターネット回線が使用不可となったことを想定して、**スターリンク衛星接続インターネットシステムをバックアップ回線として導入しました。**これにより研究所の状況をSNSやメールを介して情報発信します。



スターリンク衛星を介したインターネット接続のためのアンテナ



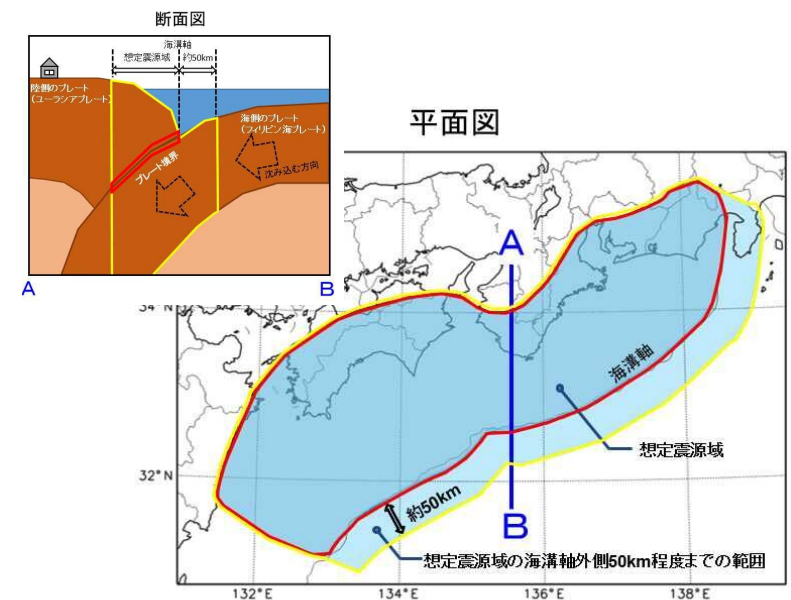
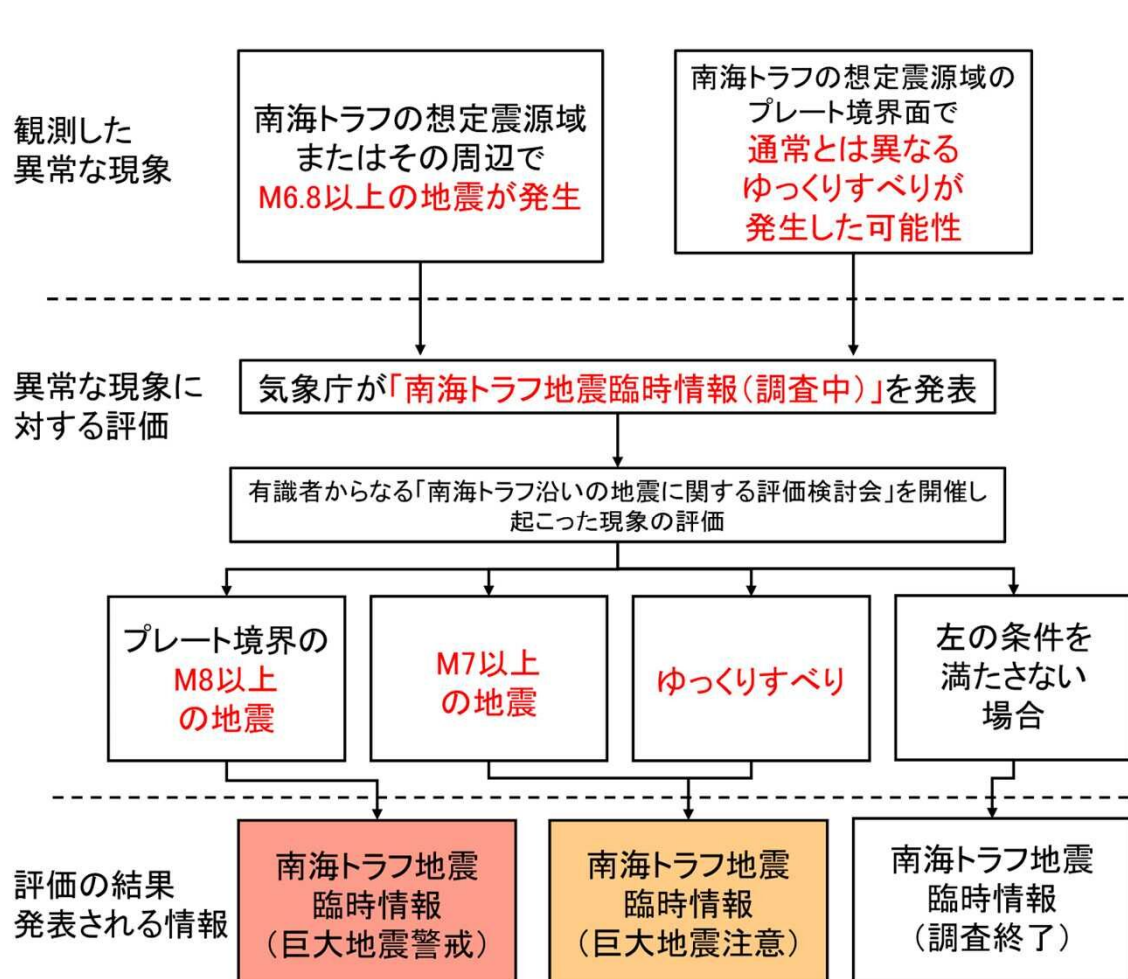
スターリンク衛星を介したインターネット接続用の専用無線LANとアンテナ電源



スターリンク回線維持のための非常用バッテリー電源
(電力は所内の非常用発電システムからの給電を可能にする)

南海トラフ地震臨時情報について

- ✓ 南海トラフ地震の想定震源域において、複数の大規模地震が連動して発生している過去の事例を踏まえ、同域及びその周辺において**M6.8以上の地震が発生**あるいは**プレート境界のゆっくりすべり**が観測された場合に気象庁より発表される情報です
- ✓ 情報名の上に、(調査中)、(巨大地震警戒)、(巨大地震注意)、(調査終了)のうちのどれかのキーワードを付して、「**南海トラフ地震臨時情報(調査中)**」等の形で発表されます。



南海トラフ地震臨時情報発表の流れ



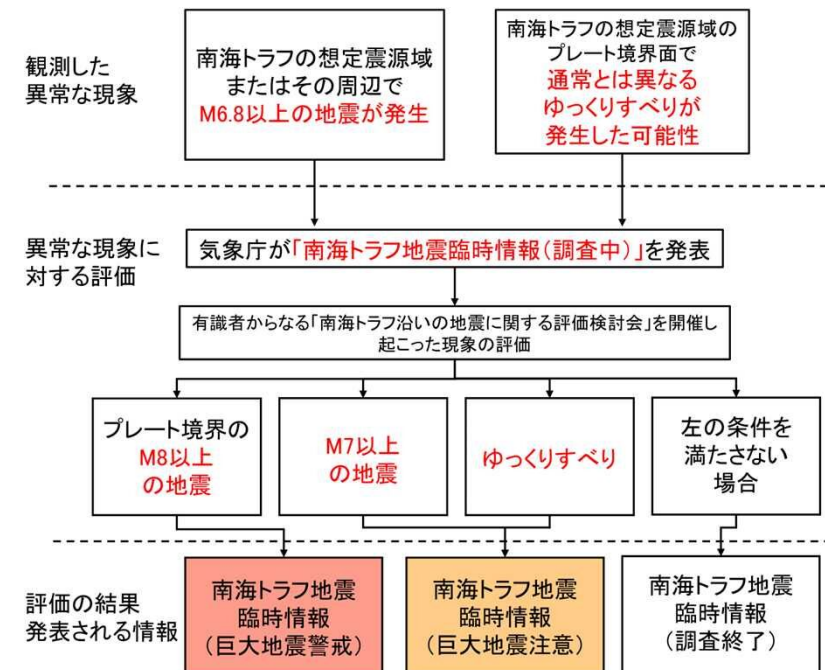
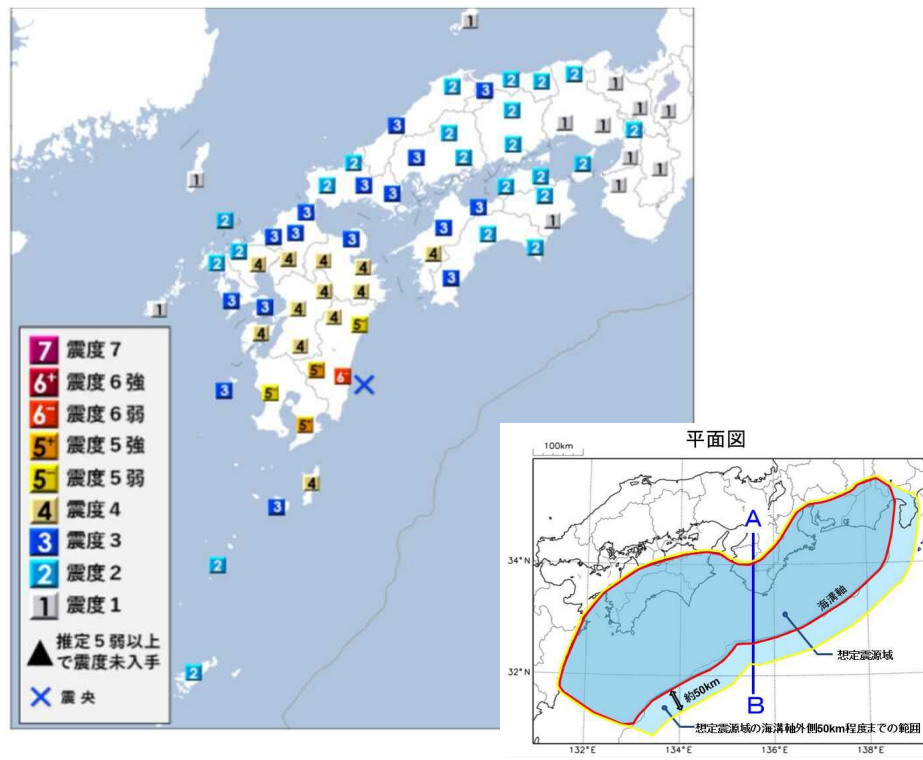
「南海トラフ地震の多様な発生形態に備えた防災対応検討ガイドライン」※に示された防災対応の流れ

	プレート境界におけるM8以上の地震	M7以上の地震	ゆっくりすべり
発生直後 「ゆっくりすべり」 は検討が必要と 認められた場合	● 個々の状況に応じて避難等の防災対応を準備・開始		● 今後の情報に注意
(最短) 2時間程度	<u>巨大地震警戒対応</u> ● 日頃からの地震への備えを再確認する等 ● 地震発生後の避難では間に合わない可能性のある要配慮者は避難、それが以外の者は、避難の準備を整え、個々の状況等に応じて自主的に避難 ● 地震発生後の避難で明らかに避難が完了できない地域の住民は避難	<u>巨大地震注意対応</u> ● 日頃からの地震への備えを再確認する等 (必要に応じて避難を自主的に実施)	<u>巨大地震注意対応</u> ● 日頃からの地震への備えを再確認する等
1週間			
2週間	<u>巨大地震注意対応</u> ● 日頃からの地震への備えを再確認する等 (必要に応じて避難を自主的に実施)	● 大規模地震発生の可能性がなくなったわけではないことに留意しつつ、地震の発生に注意しながら通常の生活を行う	
すべりが収まったと評価されるまで	● 大規模地震発生の可能性がなくなったわけではないことに留意しつつ、地震の発生に注意しながら通常の生活を行う		
大規模地震発生まで			● 大規模地震発生の可能性がなくなったわけではないことに留意しつつ、地震の発生に注意しながら通常の生活を行う

	プレート境界のM8以上の地震	M7以上の地震	ゆっくりすべり
発生直後 「ゆっくりすべり」 は検討が必要と 認められた場合	● 実験実施期: 実験実施の一時停止 ● メンテナンス期: メンテナンスの一時停止 ● 実験装置等の状況の確認・安全措置 ● 実験関係者/作業者の安否確認 ● 装置や環境放射線等の状況の関係機関等への報告、インターネットによる公表		● 今後の情報に注意して、実験あるいは作業の継続
(最短) 2時間程度	<u>巨大地震警戒対応</u> ● 大規模地震再発生時の対応の確認 ● 装置の状況や社会状況に応じて、今後の対応を検討 ● 実験/作業は一時停止状態を維持	<u>巨大地震注意対応</u> ● 大規模地震発生時の対応の確認 ● 装置の状況や社会状況に応じて、今後の対応を検討 ● 装置等に異常がなかった場合は、実験/作業を再開 ● 装置等に異常があった場合は、異常箇所の復旧を行う。必要に応じて、装置の停止措置を行う	<u>巨大地震注意対応</u> ● 大規模地震発生時の対応確認 ● 実験/作業の継続
1週間			
	<u>巨大地震注意対応</u> ● 実験装置等の状況を精査 ● 装置等に異常がなかった場合は、実験/作業を再開 ● 装置等に異常があった場合は、異常箇所の復旧を行う。必要に応じて、装置の停止措置を行う。	● 大規模地震発生の可能性がなくなったわけではないことに留意しつつ、地震の発生に注意しながら実験/作業を継続	
2週間			
すべりが収まった と評価されるまで	● 大規模地震発生の可能性がなくなったわけではないことに留意しつつ、地震の発生に注意しながら実験/作業を継続		
大規模地震 発生まで			● 大規模地震発生の可能性がなくなったわけではないことに留意しつつ、地震の発生に注意しながら実験/作業を継続

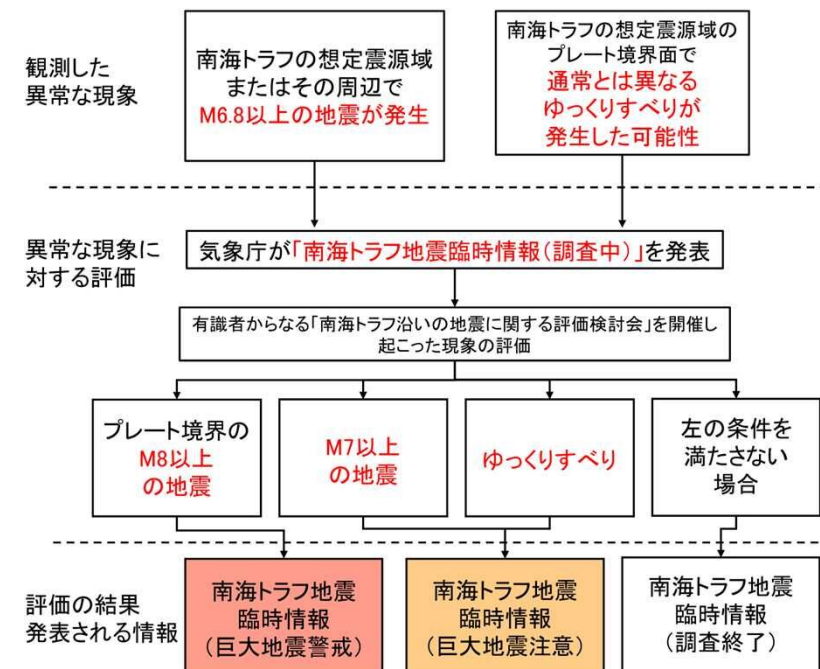
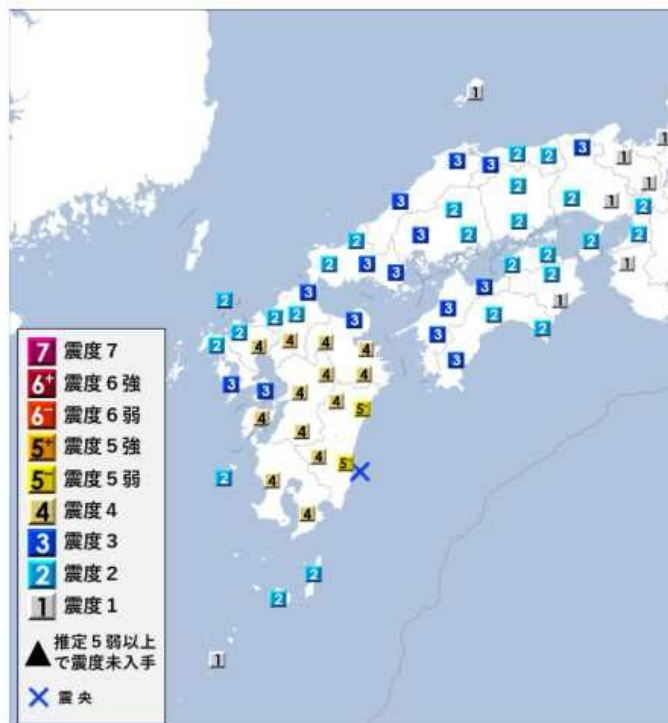
2024年8月8日16時43分頃に日向灘沖にて発生した M7.1の地震に対する対応について

- 南海トラフ想定震源域にてM6.8以上の地震が発生したため、「南海トラフ地震臨時情報(調査中)」が気象庁により発表されました(同日17時)。その後、「南海トラフ地震臨時情報(巨大地震注意)」が発表されました(同日19時15分)。
- 核融合科学研究所の防災マニュアルに従って「研究所において地震による揺れが観測されなかったこと、及び、実験装置に異常は発生していないこと」を岐阜県・土岐市・多治見市・瑞浪市に連絡するとともに、研究所のホームページ及びSNS(Facebook及びX)にて、同様の内容を情報発信しました。
- 同年8月15日17時をもって、「南海トラフ地震臨時情報(巨大地震注意)」発表に伴う政府としての特別な注意の呼びかけは終了しました。



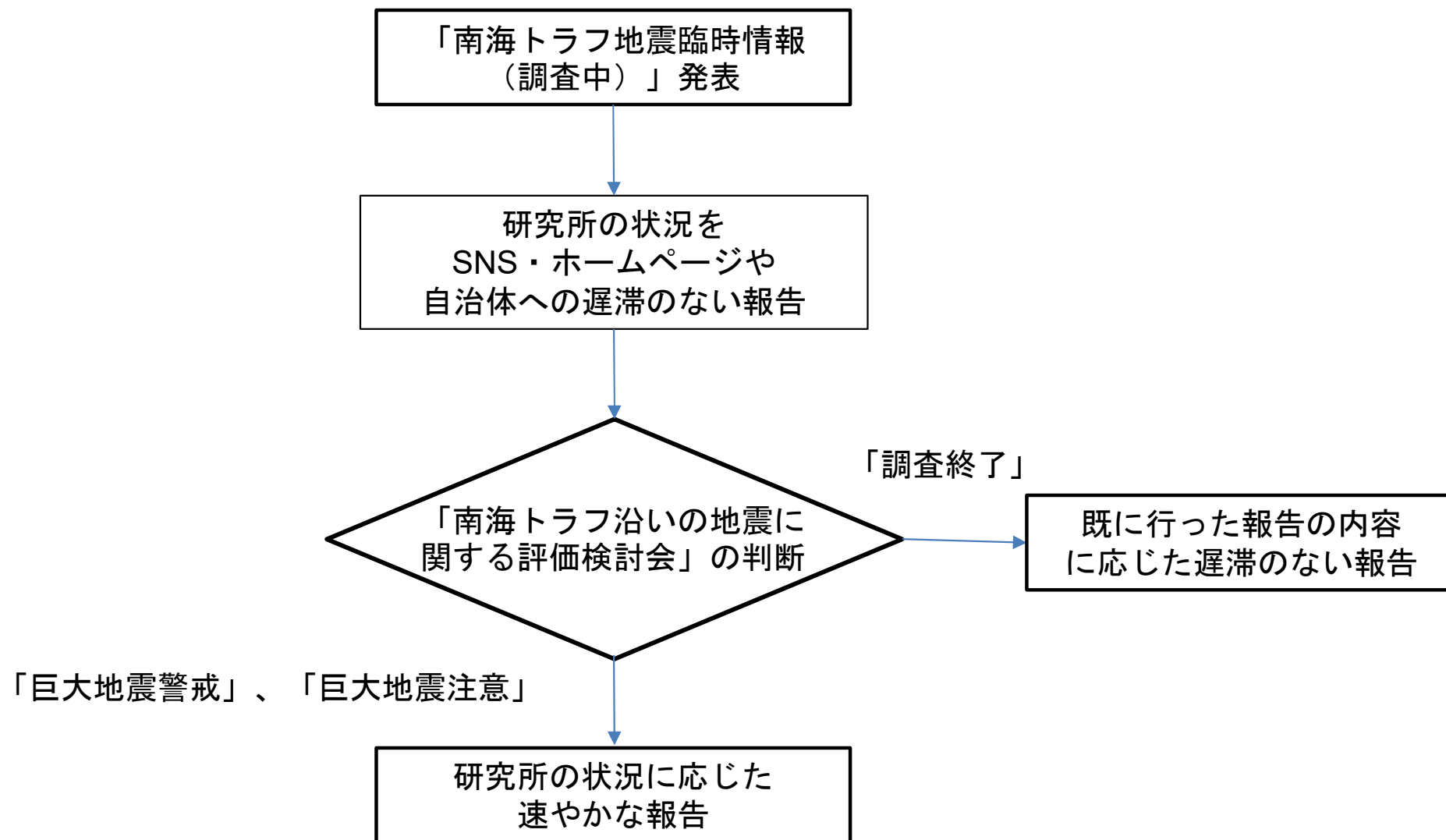
2025年1月13日21時19分頃に日向灘沖にて発生した M6.9の地震に対する対応について

- 南海トラフ想定震源域にてM6.9(気象庁)の地震が発生したため、「南海トラフ地震臨時情報(調査中)」が気象庁により発表されました(同日22時32分)。その後、モーメントマグニチュードが6.7であると評価され、「南海トラフ地震臨時情報(調査終了)」が発表されました(同日23時45分)。
- 核融合科学研究所の防災マニュアルに従って研究所の状況を確認後、「研究所において地震による揺れが観測されなかったこと、及び、実験装置に異常は発生していないこと」をSNS(Facebook及びX)にて直ちに報告しました。
- 翌14日朝に岐阜県・土岐市・多治見市・瑞浪市に同様の内容を速やかに連絡するとともに、研究所のホームページにて、「南海トラフ地震臨時情報(調査終了)」発表が政府よりなされたこととともに同様の内容を情報発信しました。



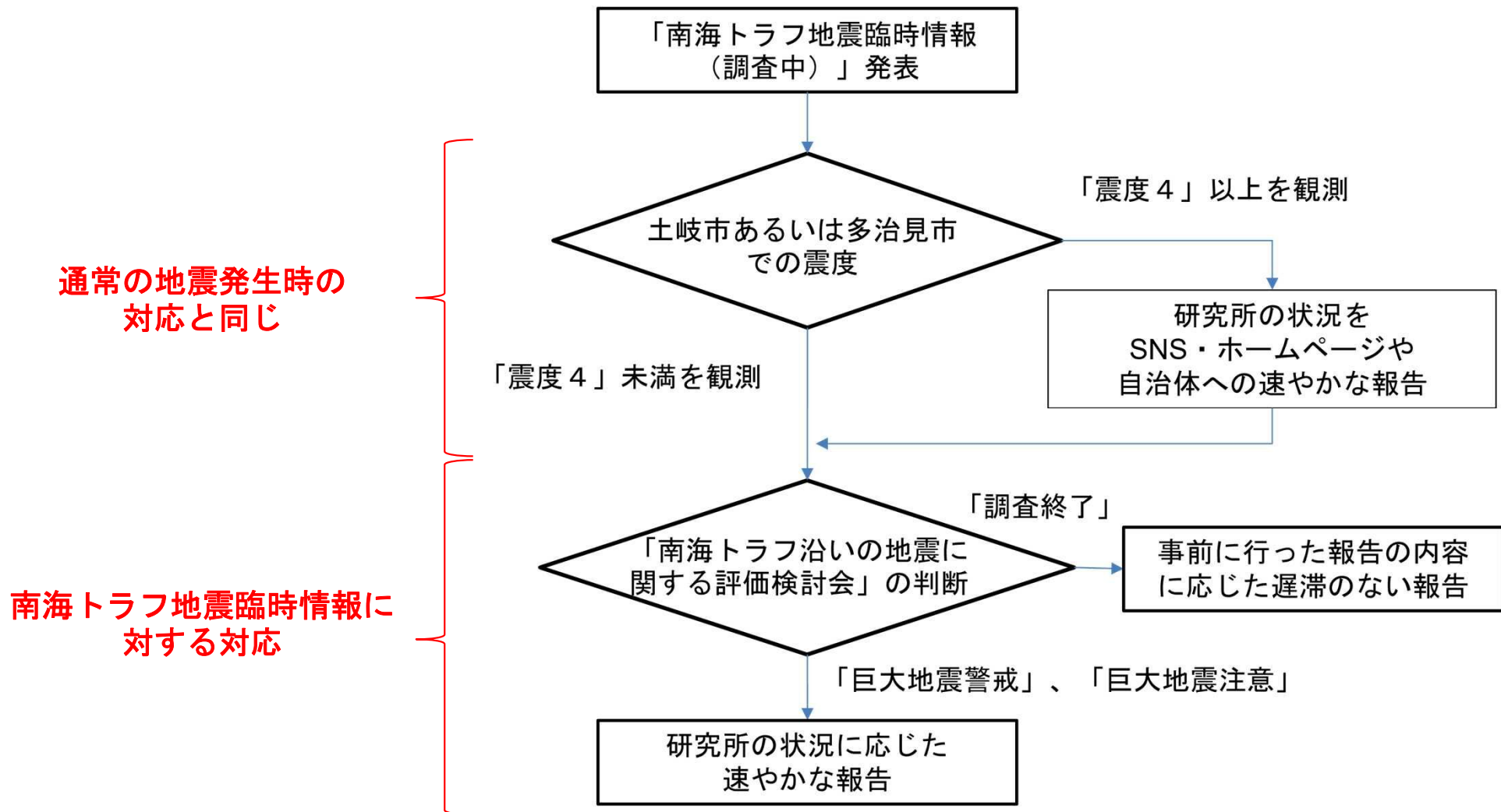


南海トラフ地震臨時情報 対応フローチャート(現状)



南海トラフ地震臨時情報 対応フローチャート(改善案)

過去2回の「南海トラフ地震臨時情報（調査中）」発表時に、研究所周辺の地域が全く揺れなかったことを考慮して、下記のように修正したい。



	プレート境界のM8以上の地震	M7以上の地震	ゆっくりすべり
発生直後 「ゆっくりすべり」 は検討が必要と 認められた場合	● 実験実施期: 実験実施の一時停止 ● メンテナンス期: メンテナンスの一時停止 ● 実験装置等の状況の確認・安全措置 ● 実験関係者/作業者の安否確認 <u>「土岐市」あるいは「多治見市」において震度4以上の揺れを観測した時（通常の地震発生時の対応）</u> ● 装置や環境放射線等の状況の関係機関等への報告、インターネットによる公表 <u>上記以外の場合</u> ● 状況に応じて、今後の情報に注意しつつ実験あるいは作業の継続		
(最短) 2時間程度	巨大地震警戒対応 ● 大規模地震発生時の対応の確認 ● 装置の状況や社会状況に応じて、今後の対応を検討 ● 実験/作業は一時停止状態を維持 ● 研究所の状況に応じた速やかな報告を関係機関やインターネットを通じて行う	巨大地震注意対応 ● 大規模地震発生時の対応の確認 ● 装置の状況や社会状況に応じて、今後の対応を検討 ● 装置等に異常がなかった場合は、実験/作業を再開 ● 装置等に異常があった場合は、異常箇所の復旧を行う。必要に応じて、装置の停止措置を行う ● 研究所の状況に応じた速やかな報告を関係機関やインターネットを通じて行う	巨大地震注意対応 ● 大規模地震発生時の対応確認 ● 実験/作業の継続 ● 研究所の状況に応じた速やかな報告を関係機関やインターネットを通じて行う
1週間	巨大地震注意対応 ● 実験装置等の状況を精査 ● 装置等に異常がなかった場合は、実験/作業を再開 ● 装置等に異常があった場合は、異常箇所の復旧を行う。必要に応じて、装置の停止措置を行う。	● 大規模地震発生の可能性がなくなったわけではないことに留意しつつ、地震の発生に注意しながら実験/作業を継続	
2週間			
すべりが収まった と評価されるまで	● 大規模地震発生の可能性がなくなったわけではないことに留意しつつ、地震の発生に注意しながら実験/作業を継続		
大規模地震発生まで			● 大規模地震発生の可能性がなくなったわけではないことに留意しつつ、地震の発生に注意しながら実験/作業を継続