

「大型ヘリカル装置における重水素実験の 安全管理計画」に基づく実施状況

1. 機器整備状況

LHDにおける重水素実験

プラズマが点いているときだけ、1回、3秒程度、
真空容器の中で、トリチウムと中性子が発生

トリチウム

1回に最大で4百万分の1g
(1.0×10^8 Bq)発生

放射性物質として扱わなくてよい量
他の研究施設ではそのまま大気中
に放出

処置

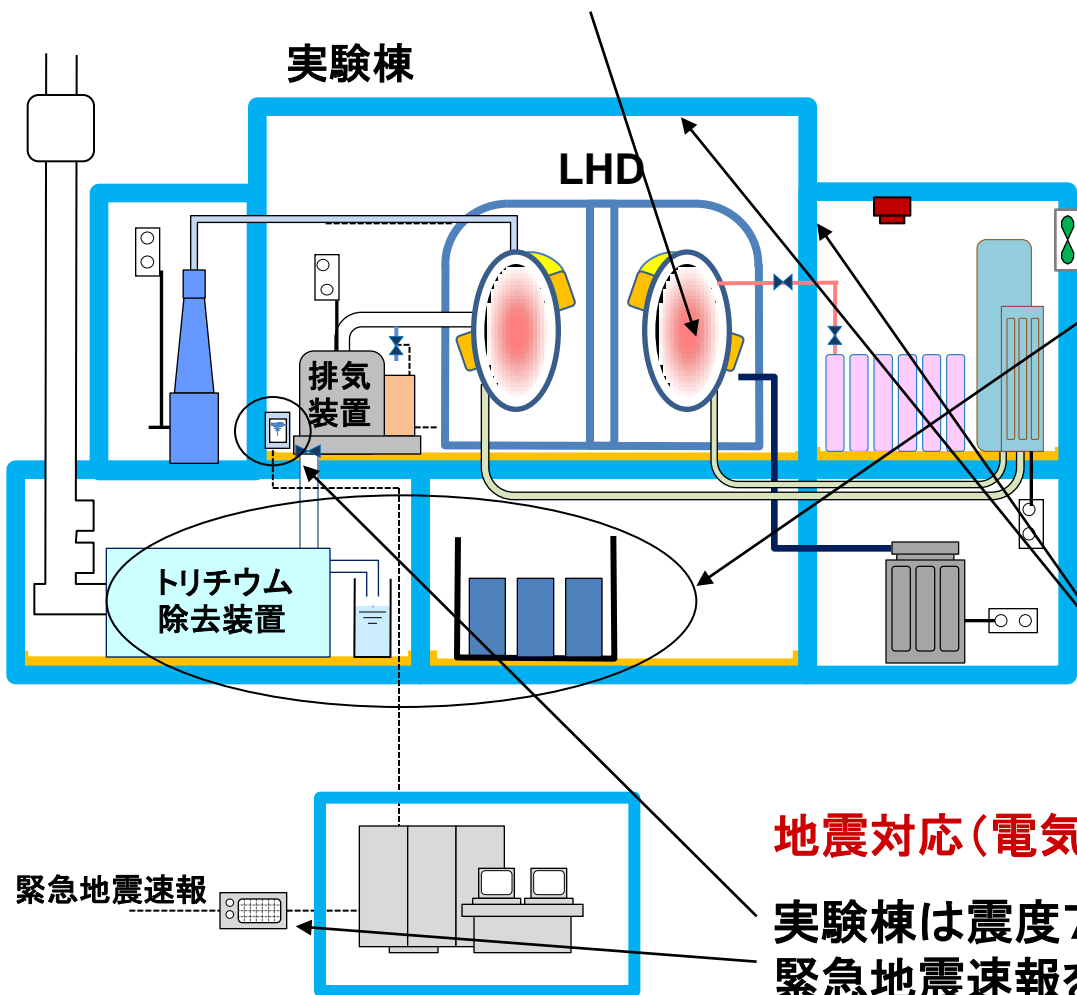
トリチウム除去装置で回収し、日本
アイソトープ協会に引き取ってもらう

中性子

1回に最大で 5.7×10^{16} 個 発生

処置

本体室のコンクリートの壁で千万分
の1に減衰、遮蔽



地震対応(電気が止まると、即座に消える)

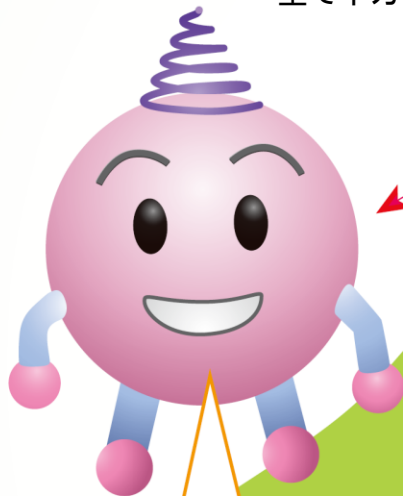
実験棟は震度7でも倒壊しない、震度4で自動停止
緊急地震速報を受信すると自動停止

制御装置の改造: 1回、1回、プラズマの生成を手動で起動

重水素実験の環境への影響

中性子は建物のコンクリートの壁で千万分の1に減衰、遮蔽
反射

1回の実験で発生する量は、4百万分の1グラムで、放射性物質としての扱いは必要ない量。夜光時計で使用している量の1/3 → 除去装置により回収



敷地境界

1.3メートルのコンクリート天井

排気塔
トリチウム
濃度測定

大型ヘリカル装置
(LHD)

中性子
トリチウム

プラズマ

2メートルのコンクリート壁

除去装置

日本アイソトープ協会が回収

発生する放射線やトリチウムから受ける影響は、研究所の入口にずっと立っていても

自然放射線の1000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よ

日本原子力研究開発機構や諸外国の多くの研究施設で、何十年も行われており、初めての実験ではない

LHDの重水素実験は第9年度で終了し、その後はLHD装置の有効利用を目的とした科学的な研究計画へ転換

	前半6年間		後半3年間	
年 度	初年度	第2～6年度	第7～9年度	第10年度 以降
事項	予備的実験 (許認可検査)	プラズマ 高性能化実験	総合性能実験	ポストLHD 計画へ転換
年間トリチウム 最大発生量	37GBq (1Ci) (各年度)		55.5GBq (1.5Ci) (各年度)	---
年間トリチウム 最大放出量	3.7GBq(各年度)			
年間中性子 最大発生量	2.1x10 ¹⁹ 個 (各年度)		3.2x10 ¹⁹ 個 (各年度)	---

進捗状況に応じ、水素で実験を行う年度、あるいは、休止する年度は、9年間に含まれない



安全管理計画における主要事項 に対する実施状況

重水素実験の安全管理計画<改訂版>(平成24年2月)の主要事項に対する実施状況

○中性子線・ガンマ線対策

- ・ 本体室地下の管理区域境界の貫通口の閉止処理を順次実施。H28年度前半に全ての貫通口の処理が完了予定
- ・ 貫通口閉止に伴うケーブル、レーザー光路等の処理(H25～27年度)
- ・ ポリエチレン板の床面敷設が進行中(H26年度～)

○放射線総合監視システムの整備

- ・ 放射線総合監視システムの検討・設計が完了、H28年度前半に整備予定
- ・ 線量監視、放射能監視 –RMSAFE(敷地内放射線モニタリングシステム)H26年度更新
- ・ トリチウム安全管理

トリチウム除去・回収システム:H26年度整備、H27年度試験調整

環境トリチウムの監視(河川水:S57年度～、松葉:H9年度～、大気:H16年度～)

→**県・三市による核融合科学研究所安全監視委員会と合同で、環境水中トリチウム濃度、及び環境中性子の測定を開始(H27年度～)。生データの交換を実施**

排出監視モニター:試験運用を開始(H26年度)

○管理区域の設定に向けた整備

- ・ 入退管理の試験運用を開始(H26年度)

○実験安全体制の構築

- ・ 放射線管理体制の整備
- ・ 放射線管理法令・規則体系
- ・ マニュアル等の整備
- ・ 教育・訓練の実施

} H25年度～



安全監視委員会との環境中性子測定の様子

中性子・ガンマ線対策

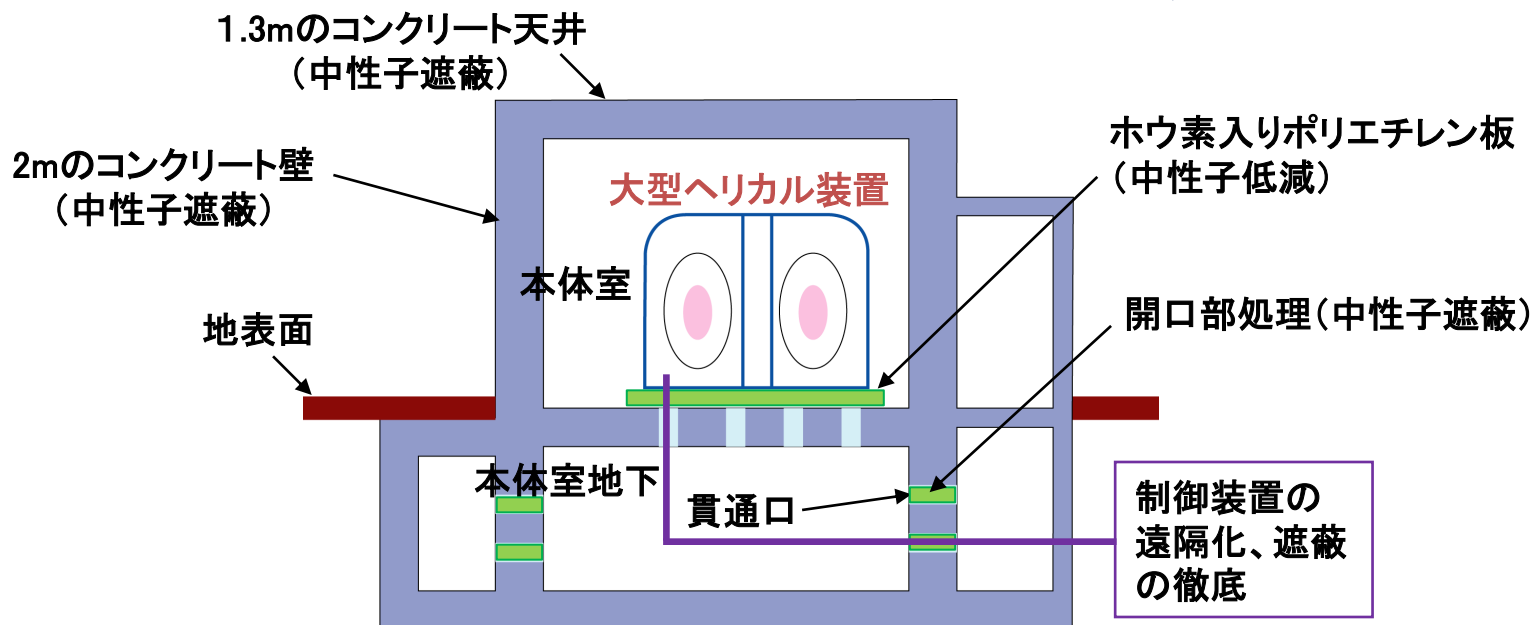


貫通口閉止処理

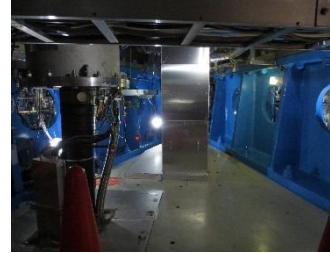
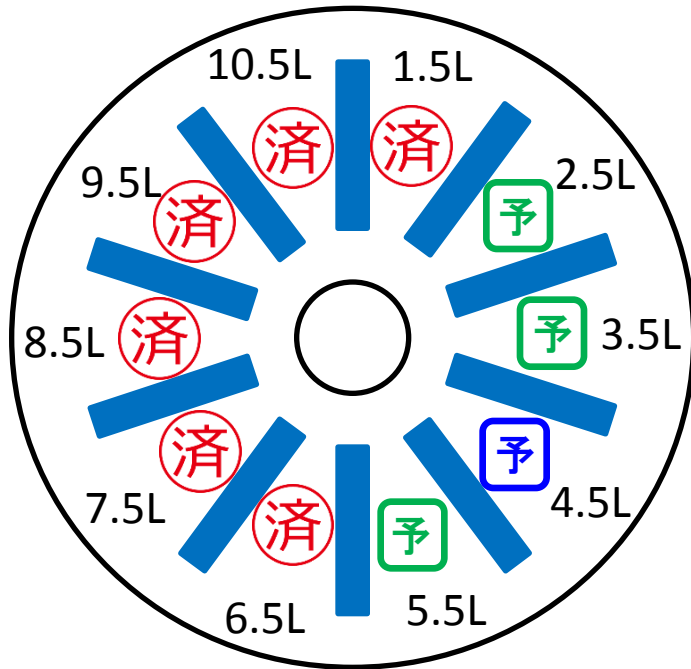
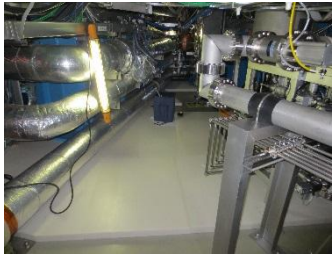
- 北側・南側壁の貫通口処理は終了。残った東側壁の一部はH28年度前半に実施する予定
- ホウ素入りポリエチレン板を予定の半分以上の床面に敷設
- 各機器の遮へい、遠隔制御化、撤去、移設の推進



床へのホウ素入りポリエチレン板の敷設



LHD 下部床養生(ホウ素入りポリエチレン敷設)進捗状況



■ 床養生完了箇所

・ 1.5L・6.5L・7.5L・8.5L
9.5L・10.5L

(計6箇所)

■ 今後の予定

(2015年度)

・ 4.5L

(2016年度)

・ 2.5L

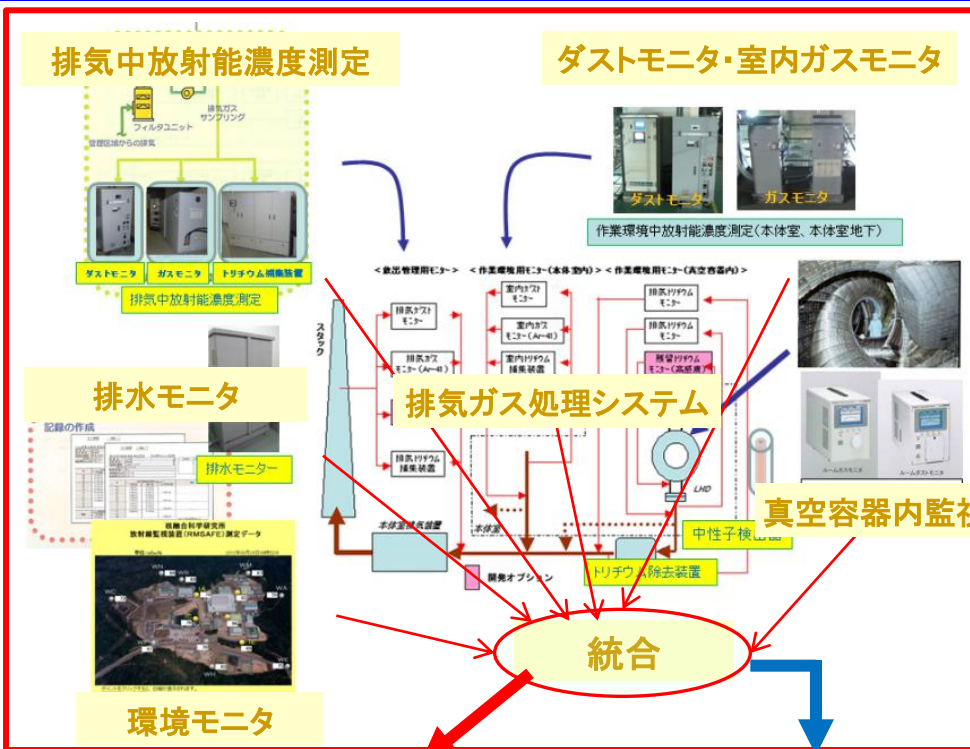
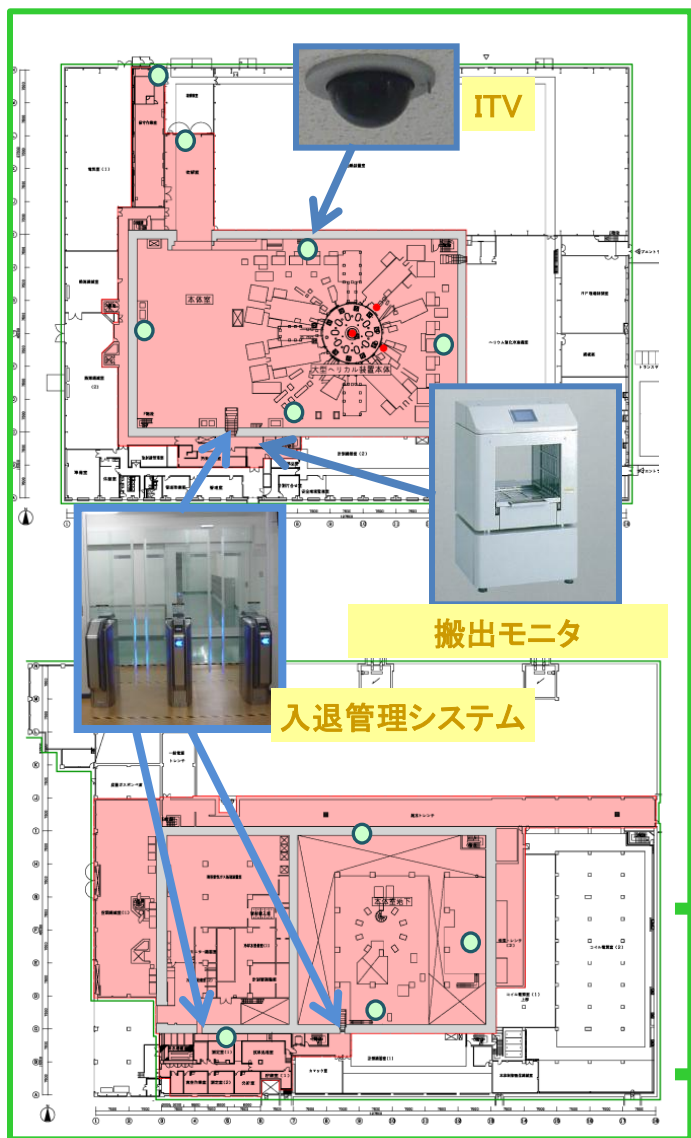
・ 3.5L

・ 5.5L

(計4箇所)

2016年2月05日現在

放射線総合監視システム

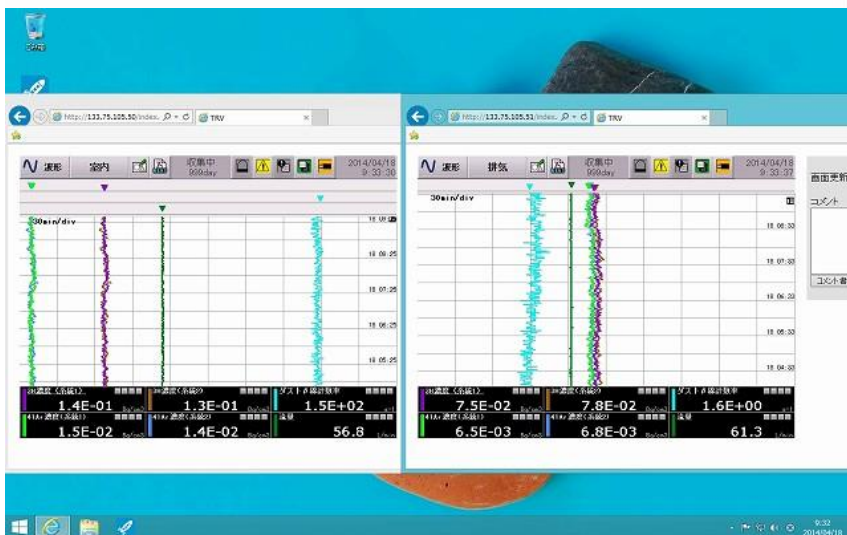
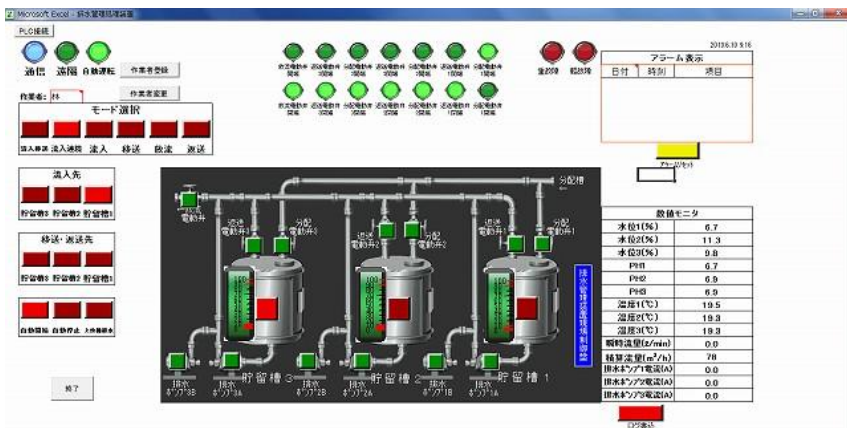


①インターロック ②放射線総合監視システム



③ 大型ヘリカル実験棟の監視装置の改良

排水管理システム

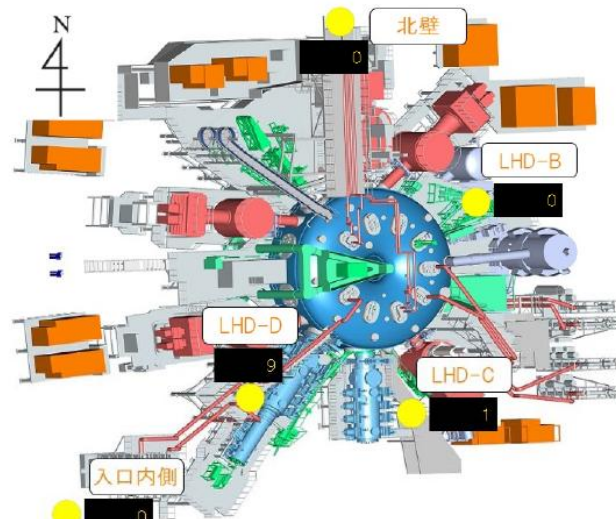


ガスモニタ

RMSAFE (敷地境界)



大型ヘリカル実験棟(本体室)



RMSAFE(LHD本体室)

敷地境界及び実験棟周辺の放射線監視ポイント



大型ヘリカル実験棟内

測定器	安全管理計画	実験時
本体室		
γ線	6台	2台 } *1
中性子	必要数設置	11台 } *1
本体室地下		
γ線	4台	4台
周辺室		
γ線	7台	7台
中性子	5台	5台 } *2
屋上		
γ線	1台	1台
中性子	—	1台 } *3

*1 放射化のため使用不能になるLHD近傍のγ線測定器を減。

*2 レムカウンタ4台、3He計数管1台

*3 3He計数管1台

Γ(X)線測定器: 14台 *

中性子測定器: 11台 (内訳: 3He比例計数管9台、レムカウンター2台IC、IF)

ガラス線量計設置場所: 8地点 (内訳: 敷地内1地点①、敷地境界7地点②~⑧)

* 安全管理計画よりWDの増設予定を変更し、よりLHDに近いICにレムカウンターを追加

放射線測定計測機器の準備状況

安全管理計画の項目

「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>

使用目的	監視場所	検出対象核種/放射線	頻度	検出器	測定手法	測定時間	検出下限	研究所管理値	備考1	備考2
建屋内測定	本体室および本体室地下	トリチウム(H-3)	連続	通気式モニタ	電離箱	リアルタイム	10^{-1} Bq/cm ³	1週間平均濃度管理値: 8x10 ⁻¹ Bq/cm ³	放射線管理区域入退管理の規制値	
		放射化空気(Ar-41)	連続	通気式モニタ	電離箱	リアルタイム	10^{-2} Bq/cm ³	1週間平均濃度管理値: 10^{-1} Bq/cm ³		
	本体室	中性子線	連続	フィッションチェンパー	ガス電離法	リアルタイム		1-6年:2.1x10 ¹⁹ /年 7-9年:3.2x10 ¹⁹ /年	別途、警報値を設定する	
排気測定	排気塔	トリチウム(H-3)	連続	通気式モニタ	電離箱	リアルタイム	10^{-2} Bq/cm ³	年間総排出量: 3.7 GBq 3ヶ月平均濃度管理値: 2x10 ⁻⁴ Bq/cm ³	総量及び濃度管理冗長化のため二系統を整備	実験停止のインターロック機器
		放射化空気(Ar-41)	連続	通気式モニタ	電離箱	リアルタイム	10^{-3} Bq/cm ³			
		ダスト(α線、β線)	連続	ダストモニター	濾紙集塵+固体シンチレーション法	リアルタイム		核種毎の法規制値		
		トリチウム(H-3)	積算	液体シンチレーション計数装置	積算捕集+液体シンチレーション法	2-3週間	10^{-5} Bq/cm ³ 以下			
排気処理量測定	真空排気処理系	トリチウム(H-3)	プラズマ実験期間	通気式モニタ	電離箱	リアルタイム	7×10^{-2} Bq/cm ³			稼働状況が実験停止のインターロック
	パージガス処理系	連続	通気式モニタ	比例計数管	10分	1.2×10^{-3} Bq/cm ³	5×10^{-3} Bq/cm ³			
排水測定	貯留槽	トリチウムC-14	ポンプ採水	β線水モニター	液体シンチレーション法	10分	3×10^{-1} Bq/cm ³	6×10^{-1} Bq/cm ³		
		採水	液体シンチレーション計数装置	液体シンチレーション法	5時間	10^{-2} Bq/cm ³ 以下				
		放射化物	ポンプ採水	γ線水モニター	固体シンチレーション法	10分	10^{-2} Bq/cm ³ 以下	核種毎の法規制値		
		採水	ウエル型NaI(Tl)検出器	固体シンチレーション法	5時間	4×10^{-4} Bq/cm ³				
	排気ガス処理システムの回収水	トリチウム(H-3)	分取時	液体シンチレーション計数装置	液体シンチレーション法	5時間	10^{-2} Bq/cm ³ 以下			
	積算	ガラス線量計	輝尽蛍光法	1週間又は3月						
環境放射線測定	敷地境界	X(γ)線	連続	Ar加圧型電離箱	電離箱	リアルタイム(バースト値積算)	0.04nSv/パルス(150万パルス/50μSv)	50μSv/年(実験起因線量)	実験停止のインターロック機器	
		中性子線	連続	He-3比例計数管	比例計数管	リアルタイム(バースト値積算)	0.2nSv/パルス(28万パルス/50μSv)			
環境放射線測定	敷地内	X(γ)線	積算	クイクセルバッジ	輝尽蛍光法	1月又は3月	10μSv			
		周辺自治体(土岐市/多治見市)	X(γ)線	積算	ガラス線量計	輝尽蛍光法	3月		土岐市/多治見市14ポイント	
	敷地内	トリチウム(H-3)	積算	液体シンチレーション計数装置	積算捕集+液体シンチレーション法	1ヶ月	10^{-9} Bq/cm ³ 以下(測定条件に依存)	大気を対象とする		
		放射性物質	採土	高純度ゲルマニウム半導体検出器	半導体検出法	3日間	核種ごとに異なる	土壌を対象とする		
周辺自治体(土岐市/多治見市)	トリチウム(H-3)	採水	液体シンチレーション計数装置	液体シンチレーション法	3月ごと	3×10^{-4} Bq/cm ³	河川/雨水を対象とする			

建屋内放射線測定機器

[研究所管理値監視、機器インターロック管理、放射線管理用機器]

敷地内および周辺自治体環境放射線測定機器

・整備を終え、現在、バックグラウンドデータの取得を行っている。



ガスモニタ



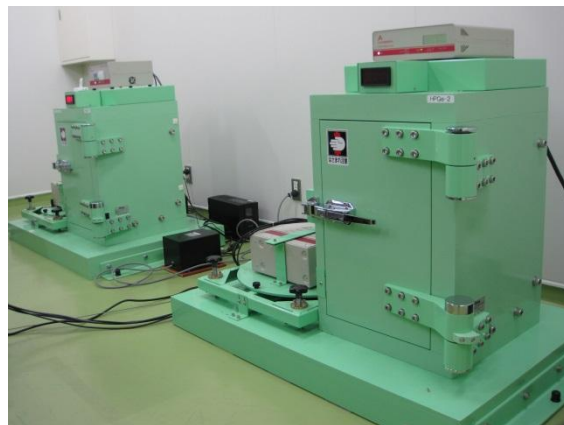
トリチウム捕集装置



低バックグラウンド
液体シンチレーション計数装置



貯留槽と排水モニタ



高純度ゲルマニウム
半導体検出器



オートウェル
ガンマシステム



ダストモニタ



室内ガスモニタ



RMSAFE用モニタリングポスト



ハンドフットクロスモニタ

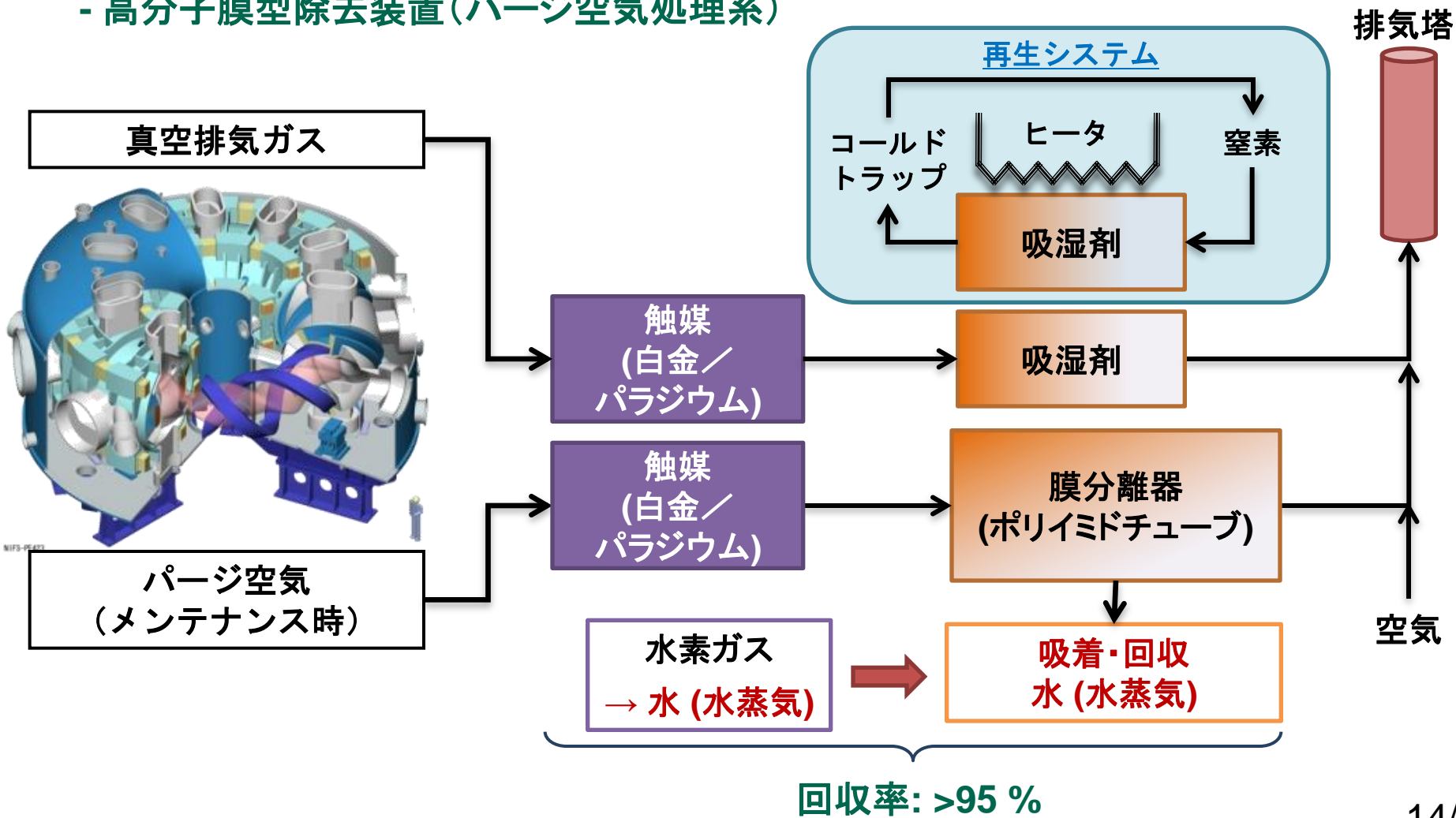


サーベイメータ

トリチウム除去装置(排気ガス処理システム)

2種類のトリチウム除去装置を設置

- モレキュラーシーブ型(吸湿剤型)除去装置(真空排気ガス処理系)
- 高分子膜型除去装置(パージ空気処理系)



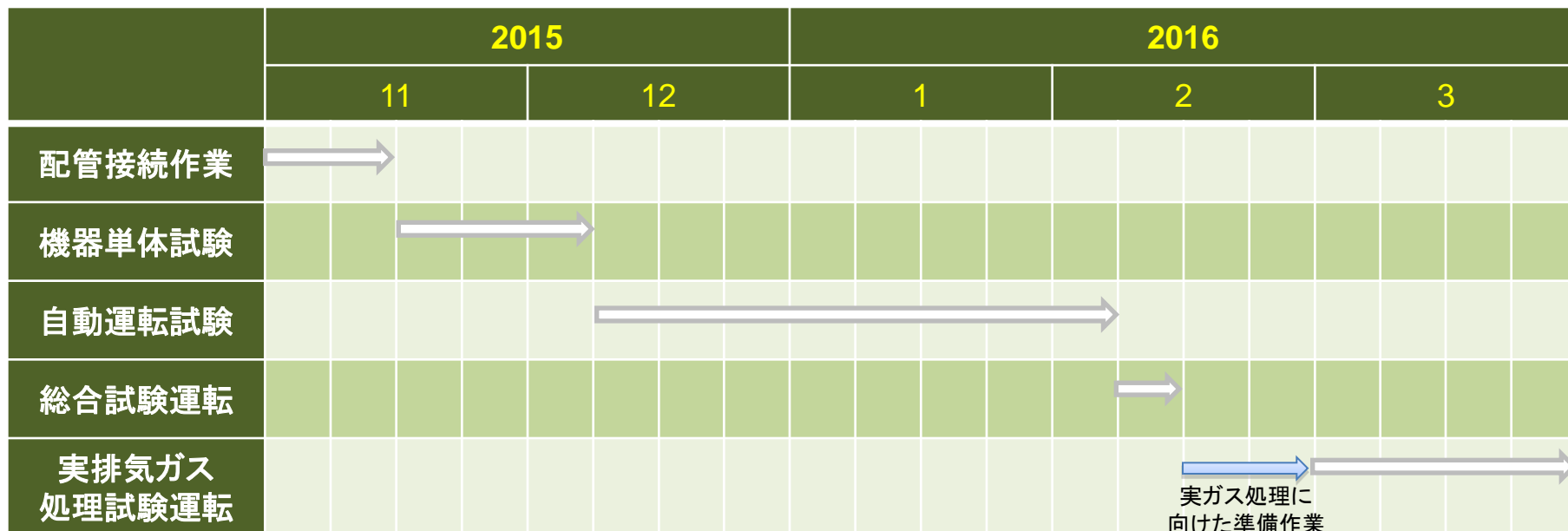
トリチウム除去装置の建設が完了



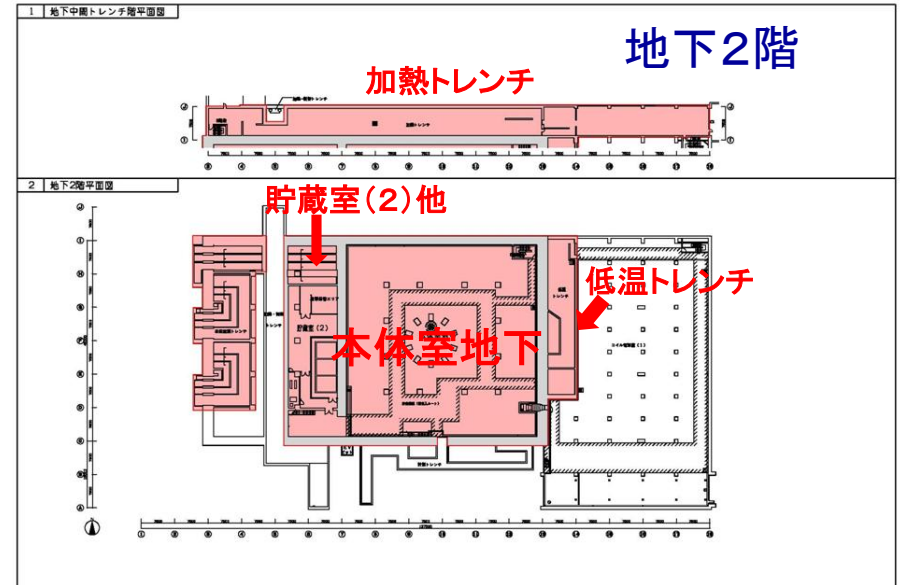
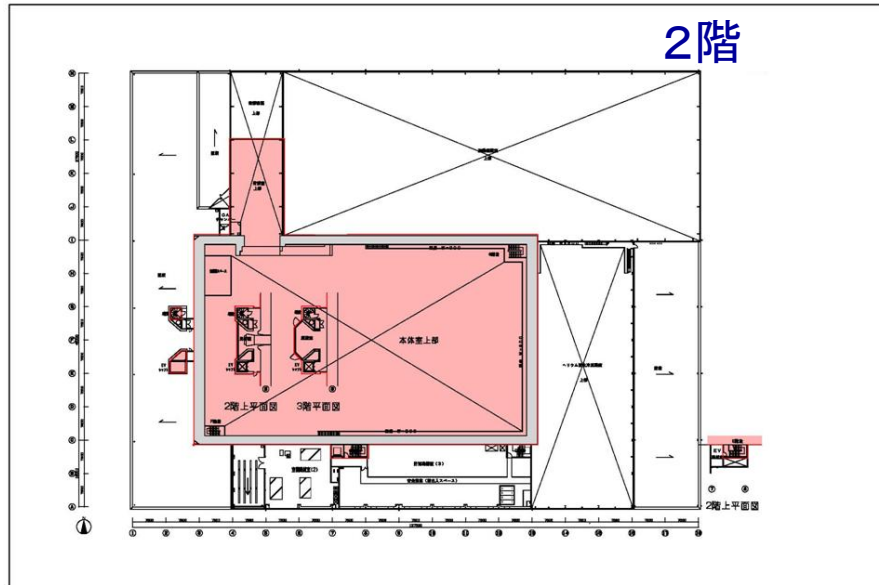
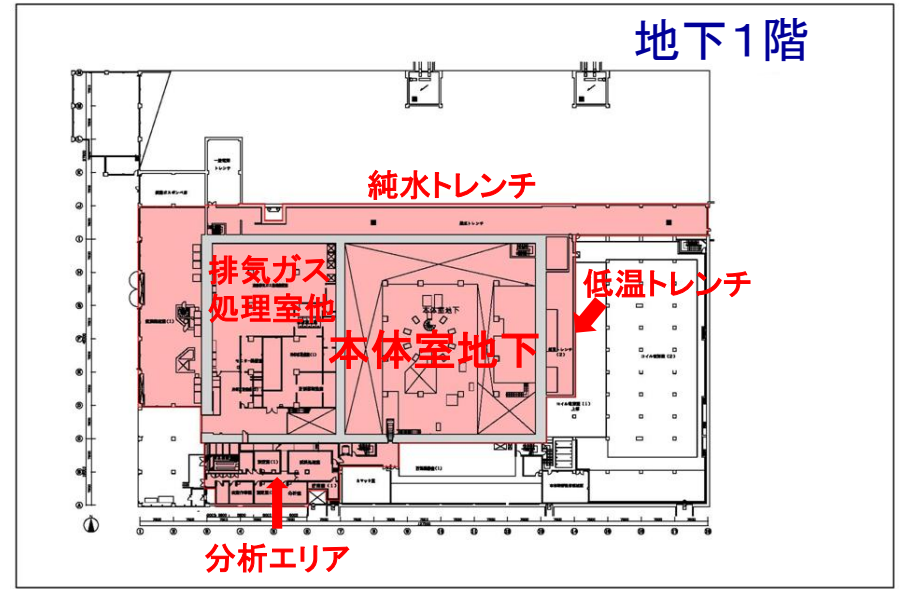
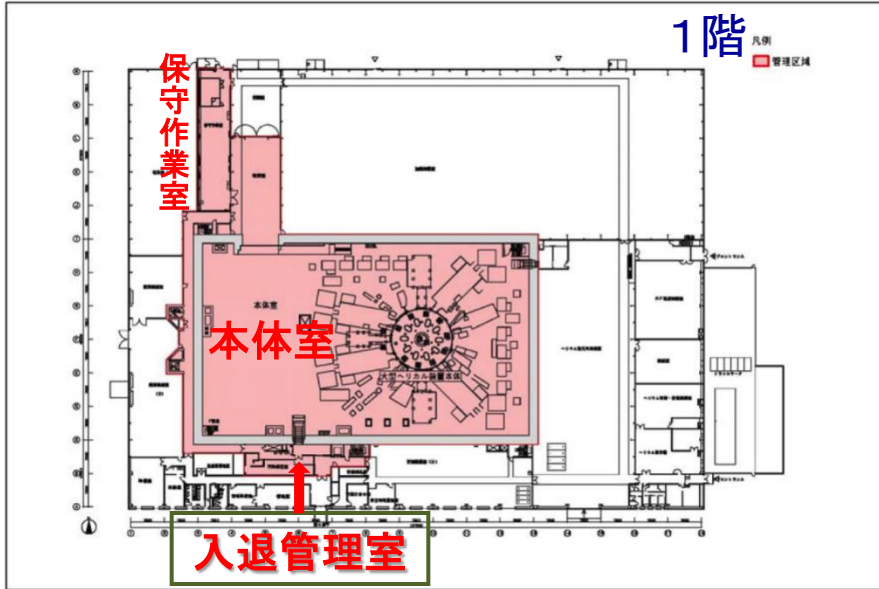


トリチウム除去装置(排気ガス処理システム) 準備状況

- 装置の建設、次いで機器単体試験、自動運転試験、軽水素ガスを用いた総合試験運転を終了
- 平成28年3月に予定されているLHD真空容器排気工程にて、実排気ガス処理試験運転を実施予定



放射線管理区域—入退出管理は1ヶ所(入退管理室)





入退管理室の整備(1)

入退ゲート及びセキュリティ機能搭載QRコード

入退ゲート及びセキュリティ機能搭載QRコード
SQRC (Security QR Code) による個人認証

- ・SQRCシールを個人線量計に貼付。
- ・個人線量計を持った者のみが管理区域内に立ち入ることができる。



SQRCリーダ



入退ゲート



SQRCの貼られた
個人線量計



入退管理室及びロッカー一室



入退管理室の整備(2)

汚染検査装置の整備と退出フロー



入退ゲート



ハンドフットクロスモニター(3台)



入退ゲート

本体室より

搬出モニター



サーベイメータ

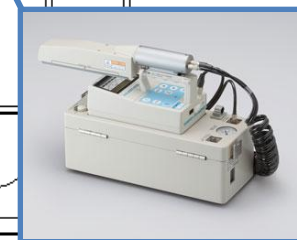
入退管理室

汚染検査室

地下より



呼気モニター



$^3\text{H}/^{14}\text{C}$ サーベイメータ

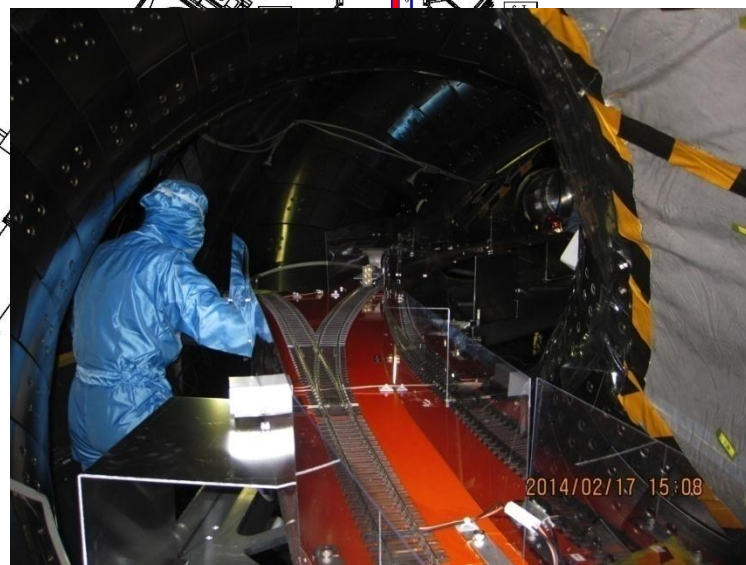
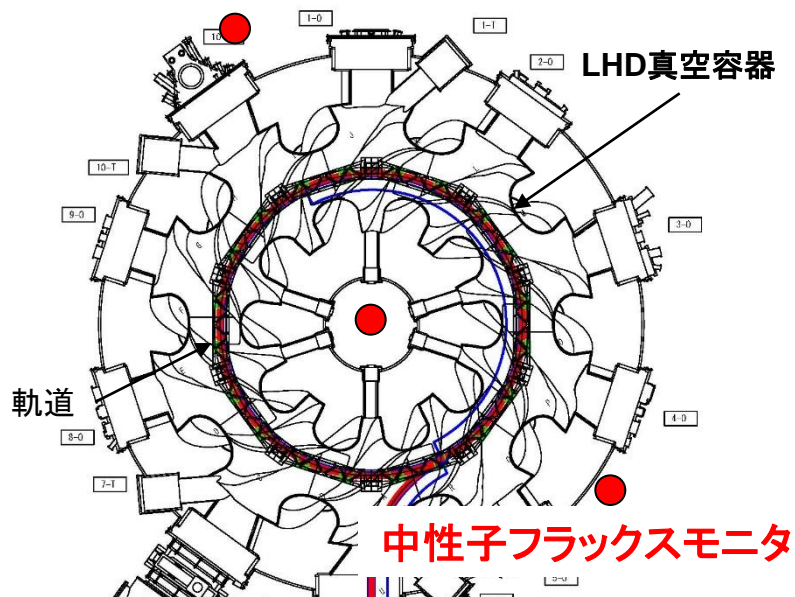


精度の高い中性子計測システム

- 中性子発生量の測定からトリチウムの生成量を同定
→精度の高い測定と長期にわたる高い信頼性が必要
- 検出信号のデジタル処理による対ノイズ性等の試験を実施して、高精度・高レンジな中性子計測システムの設計を完了(H25年度)
- H26年度にフィッションチェンバー等の中性子計測システムを整備
- 模擬検出器を用いたシステム評価を実施
- 重水素実験開始前に中性子線源(カリホルニウム)を用いた絶対較正実験を行う
→LHD真空容器内で周回移動体の設置試験を実施(H26～H27年度)
→模擬移動試験を実施(H26～H27年度)

カリホルニウムを用いた 中性子フラックスモニタの絶対較正

中性子絶対較正システム



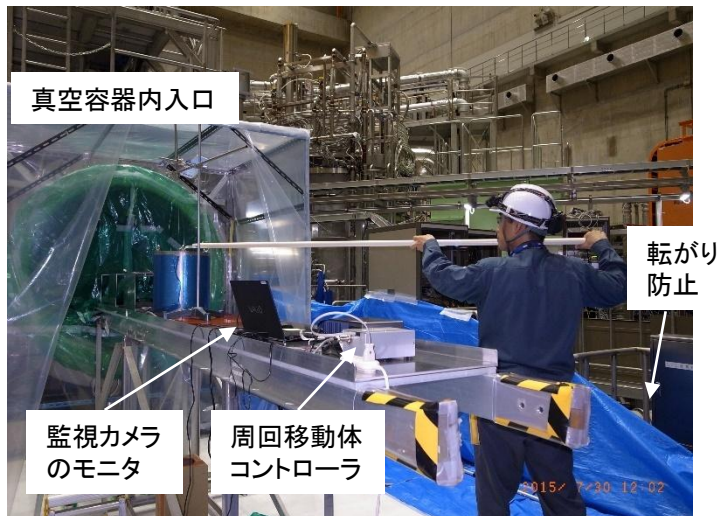
- 中性子総発生率を正確に計測するためには、中性子計測器(中性子フラックスモニタ)の絶対較正が必要。
- 絶対較正の手法は、中性子絶対較正実験のワークショップで決められたガイドラインに沿って行う*。
- 中性子線源を載せた周回移動体が途中で停止することがないように、中性子絶対較正システムは高信頼性が要求される。
- 3日間連続走行が可能な周回移動体を含む中性子絶対較正システムの開発を行った。
- 現在までに、真空容器内において軌道の敷設試験を3度行い、手順の確認、所要時間の算定等を行った。

*J.D. Strachan et al., Rev. Sci. Instrum. **61** (1990) 3501.

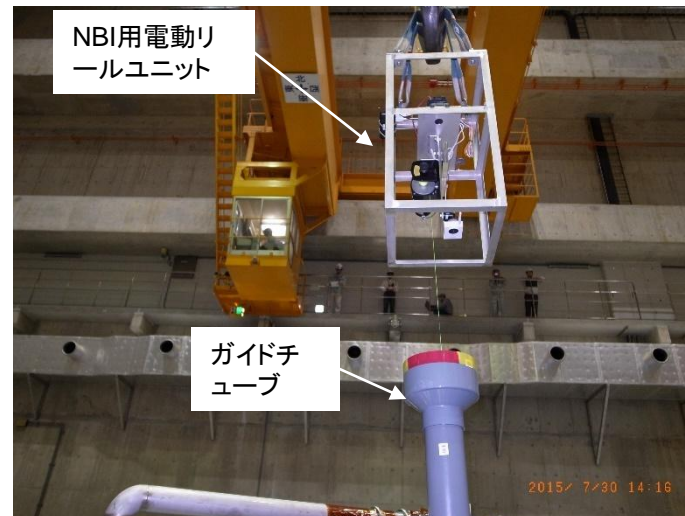
カリホルニウム移動の模擬試験の実施



線源容器を保管場所から本体室へ移動させる試験



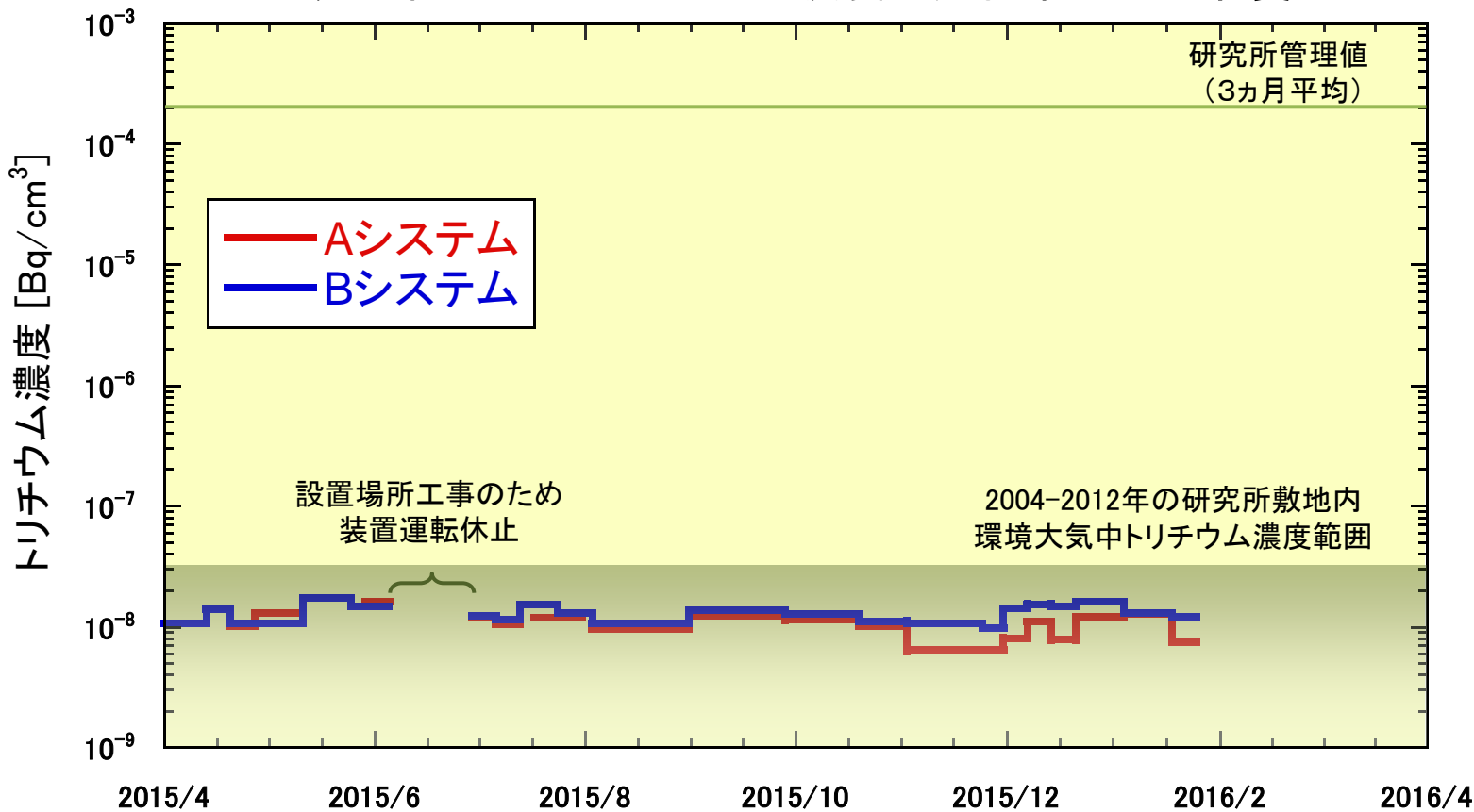
線源容器をポリエチレン保管容器から周回移動体へ移し替える様子



線源容器をNBI内部へ吊り下ろす試験：2回実施（移動試験3回）

- ・大型ヘリカル実験棟からのトリチウム放出量(積算値)を測定する。
- ・2015年度より捕集装置2台を整備し、重水素実験開始前のバックグラウンドデータを測定している

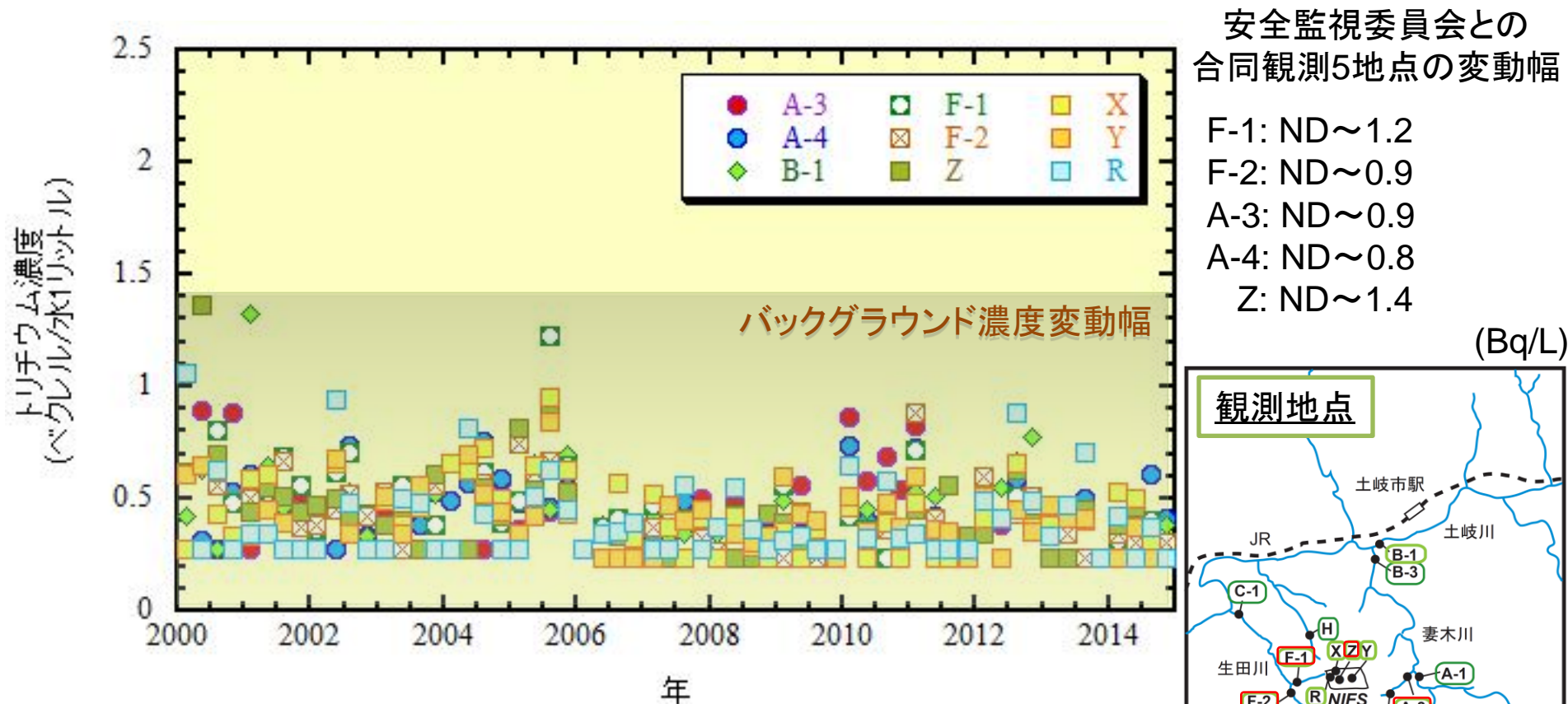
排気塔におけるトリチウム濃度測定結果: 2015年度





低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタを用いた 研究所敷地内及び周辺的环境水中トリチウム濃度の測定

9観測地点の環境水中トリチウム濃度の変遷: 2000年-2014年(15年間)



バックグラウンド濃度変動幅(2000年-2014年):

検出下限値以下(ND)~1.4 Bq/L(最小値~最大値)

赤枠地点は安全監視委員会との合同観測地点

RMSAFEによる実験に起因する 中性子線及びガンマ(X)線の検知

50ミリ秒毎に出力パルス数を測定。常時30秒間積算したデータを記録・保存
(バックグラウンドデータ)。

RMSAFEシステム動作の概要

プラズマ放電時間

プラズマ

時間 →

線量率の増加が検知された場合、
詳細な時系列データを保存する
(バースト検出データ)

線量率データ
(50ミリ秒毎の出力パルス)

検知レベル

線量率増加を検知

バックグラウンドデータ
(常時30秒毎の積算値を記録)

50ミリ秒間のパルスを積算測定し、
105回繰り返すことで線量率増加
の0.25秒前から5.25秒分の時系列
データを記録・保存する

バックグラウンドデータ

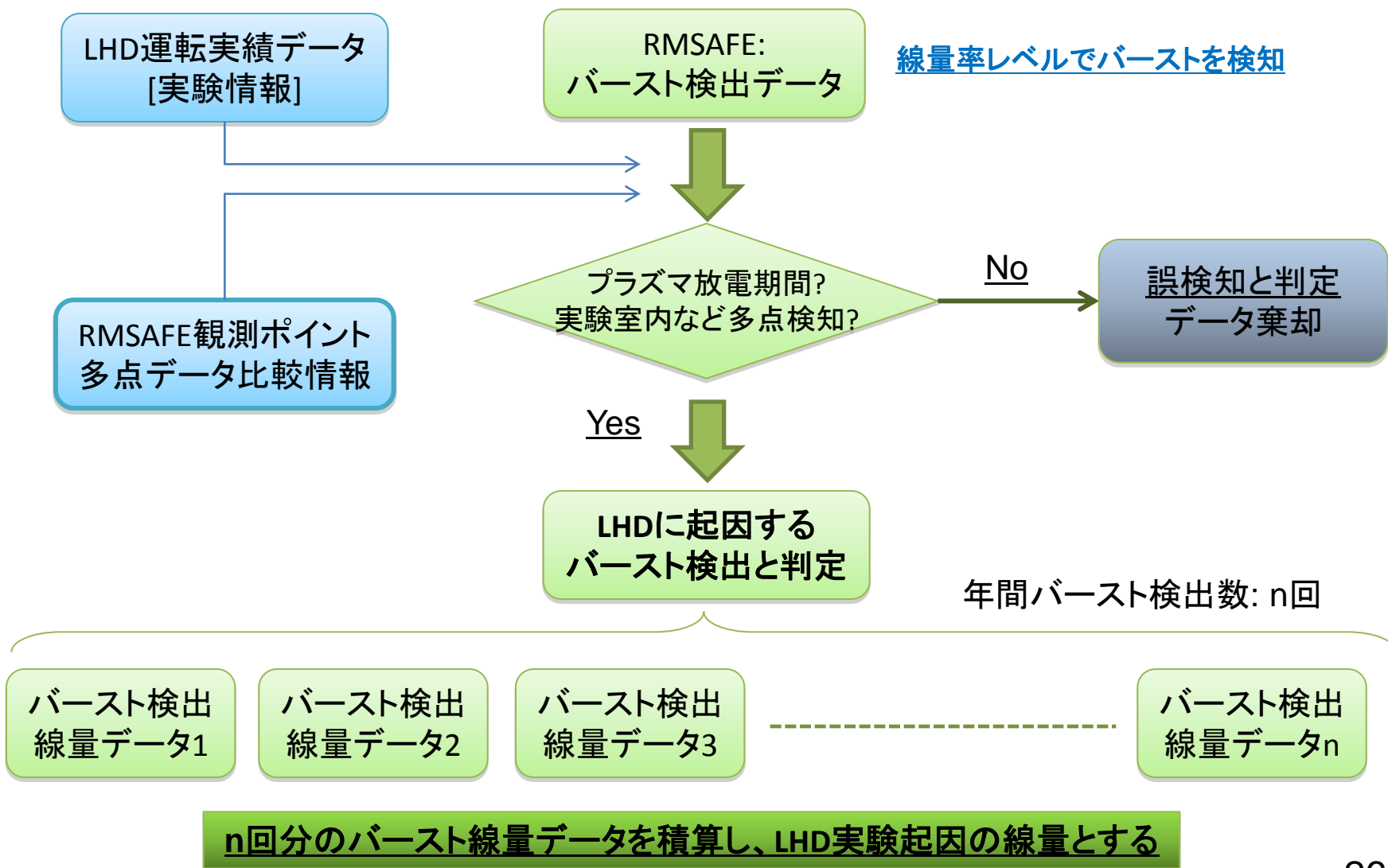
バックグラウンドデータ

バースト検出
データ

バースト検出データ
(詳細時系列データとして5.25秒間記録)

- ・バースト検出データとして保存し、バースト期間の線量を評価。
- ・プラズマ放電との対応関係も確認できる。

バースト検出データを用いた年間積算線量評価



地元自治体への災害時の連絡のため、バッテリー(非常用電源)を具備した衛星電話(ファクシミリ)を整備する



- ・三市(土岐市、多治見市、瑞浪市)及び岐阜県(東濃県事務所)に各1台、衛星電話を設置。
- ・衛星電話の端末は、KDDI「インマルサット」(ファクシミリ送受信のための周辺機器を含む)。
- ・平成27年11月までに研究所と三市・県に設置を完了し、運用を開始。
- ・平成27年度の防災訓練時に、衛星電話によるファクシミリを使用した通信テストを実施。

(設置例)



核融合科学研究所(1階防災センター内)



東濃県事務所(4階)



緊急時の県・三市への連絡先、連絡手段

連絡先		連絡手段					
		時間内			時間外・休日		
		固定電話 ○	固定電話 ×	固定電話 × 衛星電話 ×	固定電話 ○	固定電話 ×	固定電話 × 衛星電話 ×
岐阜県	環境生活部 環境管理課	電話			電話又は携帯		
	東濃県事務所 環境課		衛星(電話)	派遣		衛星(FAX)	派遣
土岐市	総務部 総合政策課	電話	衛星(電話)	派遣	電話又は携帯	衛星(FAX)	派遣
多治見市	総務部 企画防災課	電話	衛星(電話)	派遣	電話又は携帯	衛星(FAX)	派遣
瑞浪市	総務部 企画政策課	電話	衛星(電話)	派遣	電話又は携帯	衛星(FAX)	派遣

時間外・休日の電話又は携帯： 県・三市の担当者等の電話又は携帯



核融合科学研究所安全監視委員会

- ・平成25年3月28日に県・三市と締結した「核融合科学研究所周辺環境の保全等に関する協定書」と同時に取り交わした覚書に、県・三市が安全監視委員会を設置することを明記
- ・研究所が重水素実験を実施するにあたって、研究所周辺における環境を保全し、住民の安全を確保するために、県・三市が各議会の議決を経て、平成26年11月1日に、安全監視委員会を共同設置

監視委員会の構成

- ・岐阜県が選任した専門家6名
- ・土岐市、多治見市、瑞浪市がそれぞれ1名選任した住民代表(計3名)

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)
環境中性子線量及び環境トリチウム濃度等の測定
(環境中性子測定:平成27年10月～、環境トリチウム測定:平成27年8月～)
- ・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

(主な審議事項等)

- ・第1回 平成27年 1月28日 委員会会議運営要領、委員会で調査審議すべき事項について
- ・第2回 平成27年 6月 4日 研究所の安全対策、委員会が行う環境保全に必要な監視・測定について
- ・第3回 平成27年11月10日 研究所で発生した火災事故、第2回委員会での論点、委員会による環境中性子及び環境トリチウムの測定結果について
(測定結果は平成27年12月から県のホームページで公表)



真空容器管理出入り口ー真空容器内作業手順

LHD真空容器入口に「真空容器管理出入り口」を設置

真空容器管理出入り口の概要

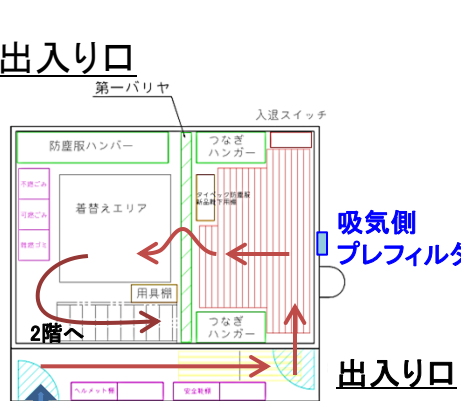
- 準気密構造。フィルタ付き吸排気口を設け、排風機により負圧管理。
- 粉塵を極力本体室に出さないために、第1バリヤ、第2バリヤの導入による中間領域の設定。
- 同時に開としない2つの扉を設ける。

管理出入り口における真空容器内作業における手順

- ゴム手袋、専用の靴下、靴、防護服を着用。また、作業レベルに応じて防護服の重ね着、或いはマスクの着用。
- 真空容器入室前に、放射線レベル及び酸素濃度を確認。
- 監視員による作業監視。
- 作業終了後、サーベイメータによる汚染検査の実施。
- 使用済みゴム手袋等の廃棄。



LHD真空容器 (負圧)



トリチウム安全取扱い研修プログラム

(富山大学 研究推進機構 水素同位体科学研究センター)

これまでに、研究部職員：17名 (H28年3月に5名研修予定)、
技術部職員：18名 (H28年3月に1名研修予定)が研修を修了した。

トリチウム安全取扱い研修日程表

		9:00	9:15	10:30	10:45	11:30	12:00	13:30	15:00	15:15	16:00	16:45	
(1日目)	共同 利用 控室 (集合)	講義						共同 利用 控室 (集合)	オリエンテーション	休憩	講義		講義・実習
		実習							(1)センター長挨拶 (2)教育訓練 (水素研予防規程)		(1)トリチウムの基礎 (2)計測器の取扱説明	(1)研修概略・注意点について (2)現場にて管理区域立入に関する説明 (3)作業準備	
(2日目)	共同 利用 控室 (集合)	講義・実習		休憩	実習			昼食	実習		実習		
		(1)真空装置作業説明 (2)真空装置内トリチウム濃度測定(トリチウムモニタ取扱) (3)トリチウム除去(除去装置の取扱)	(1)フランジ作業 (2)真空排気			(1)QMASS確認 (2)リークチェック	フランジ作業						
(3日目)	共同 利用 控室 (集合)	実習		実習		修了式		昼食	実習				
		片付	実習				修了式		実習				



防災訓練

- ・年1回研究所の全構成員で実施
- ・土岐市南消防署に参加頂いている他、地元自治体とも通報訓練を実施
- ・自衛消防隊の工作班に、放射線管理室が組み込まれており、放射線の業務分担に従って対応

LHD消火訓練

- ・LHD実験期間中に、本体室内で火災が発生した想定で消火訓練を毎年実施（本年度は3月に実施予定）

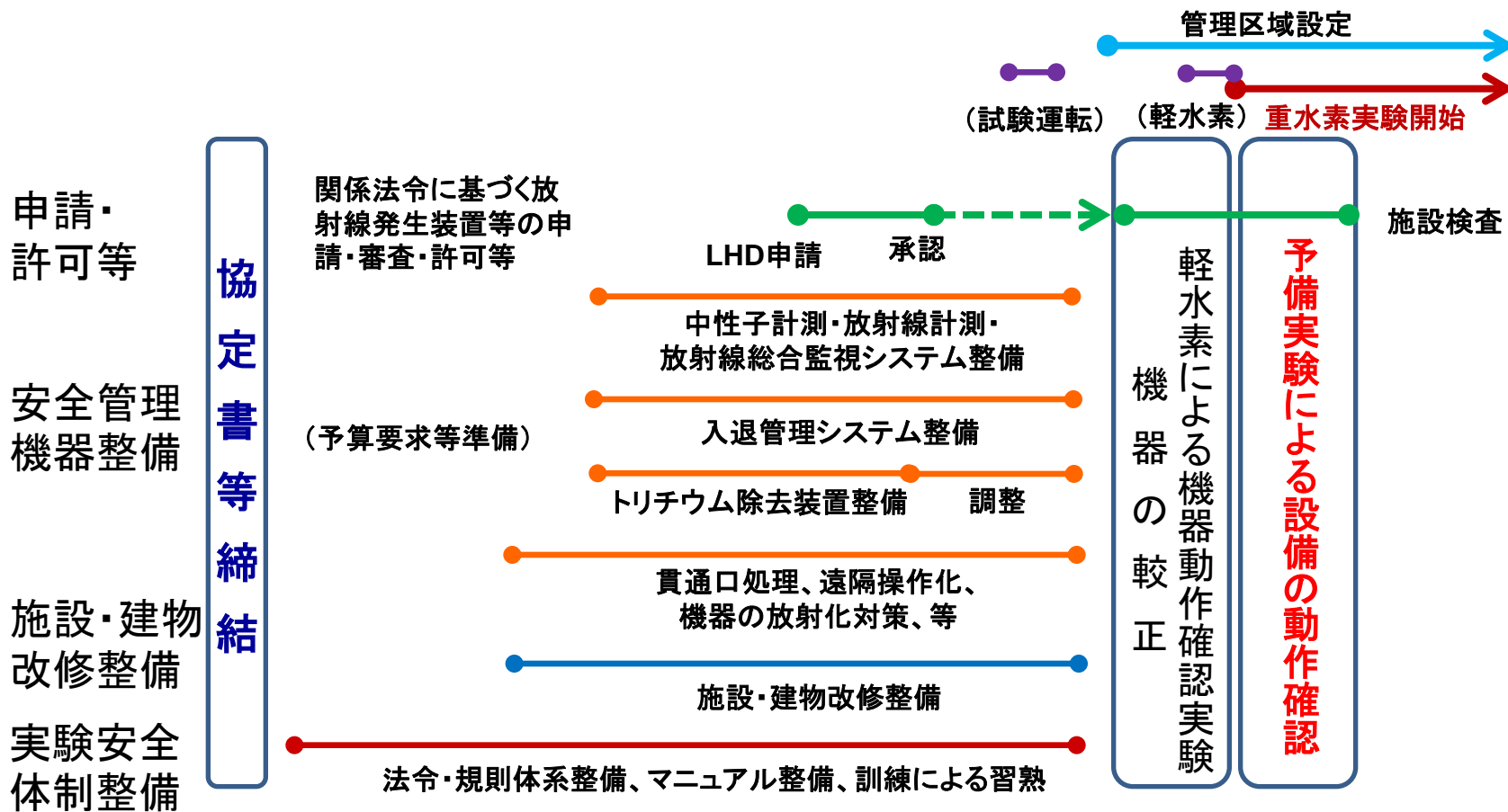


LHD消火訓練の様子



重水素実験開始に向けた整備計画 —放射線安全管理等整備—

H25年度(2013) ————— H28年度(2016)



(スケジュールは予定であり、予算状況等により変更あり)

予備実験:本格的な重水素実験に先立って行い、安全管理機器等の機能等を確認する実験



○LHDと密封線源

- ・放射線発生装置(LHD)、非密封放射性同位元素取扱(分析関係等)
H27年1月に申請 → H27年9月に承認
重水素実験開始時の予備実験で施設検査
- ・密封線源(中性子計測システムの校正用線源:カリホルニウム)
H27年12月に納入 → 納入後管理区域(保管エリア)を設定

○高精度中性子計測システム

- ・高精度測定器(フィッションチェンバー)
H26年度末に納入 → 納入後管理区域(保管エリア)を設定

- 平成28年度末の重水素実験の開始へ向けて、安全管理計画に沿った準備・整備が進んでいる。
- 安全管理計画において主要な機器であるトリチウム除去・回収装置の製造・設置が完了し、試験調整運転を実施中。
- 高精度中性子計測システムをはじめとする放射線計測器の整備を終えた。放射線総合監視システムについては設計が完了し、平成28年度前半に整備する予定。
- 管理区域の整備、貫通口処理、排気・排水処理、等の施設整備も順次進めた結果、本体室東側貫通口の一部の処理を除き、ほぼ完了した。
- 環境放射線測定の充実、衛星電話、訓練の充実など、東日本大震災を教訓に充実を図った安全管理事項に対する整備・検討も進んでいる。
- 法令に基づく放射線関係の申請を行い、承認された。
- 実験安全体制の構築を進めており、安全管理組織の構成、法令・規則の体系化、マニュアルの整備等が進んでいる。今後、さらに訓練等を通じて安全教育の徹底を図る。