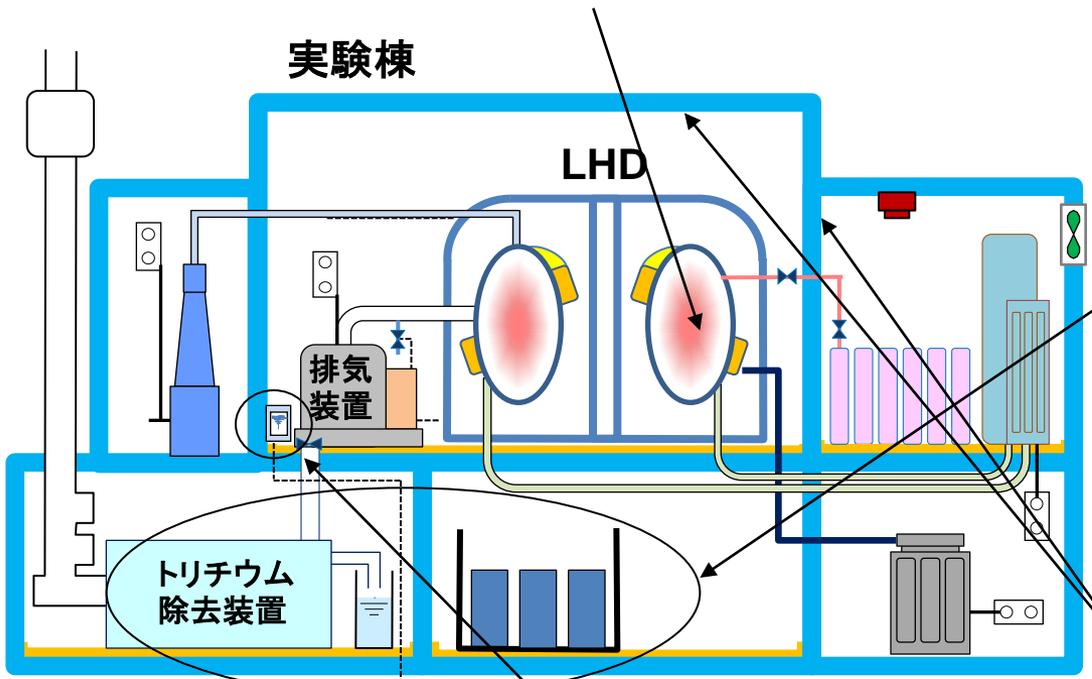


**「大型ヘリカル装置における重水素実験の  
安全管理計画」に基づく実施状況**

# 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 ( $1.0 \times 10^8$ 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

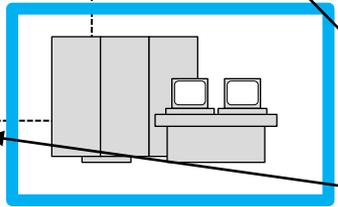
処置  
トリチウム除去装置で回収し、日本アイソトープ協会に引き取ってもらう

## 中性子

1回に最大で  $5.7 \times 10^{16}$ 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

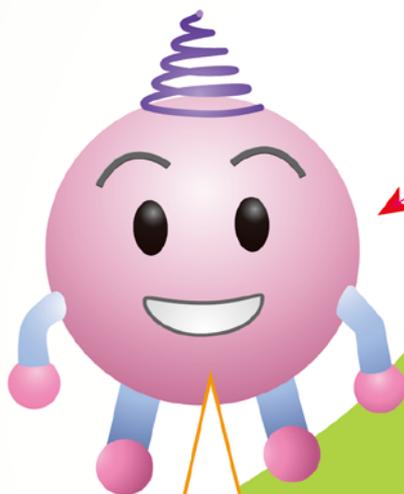
**地震対応(電気が止まると、即座に消える)**

緊急地震速報



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

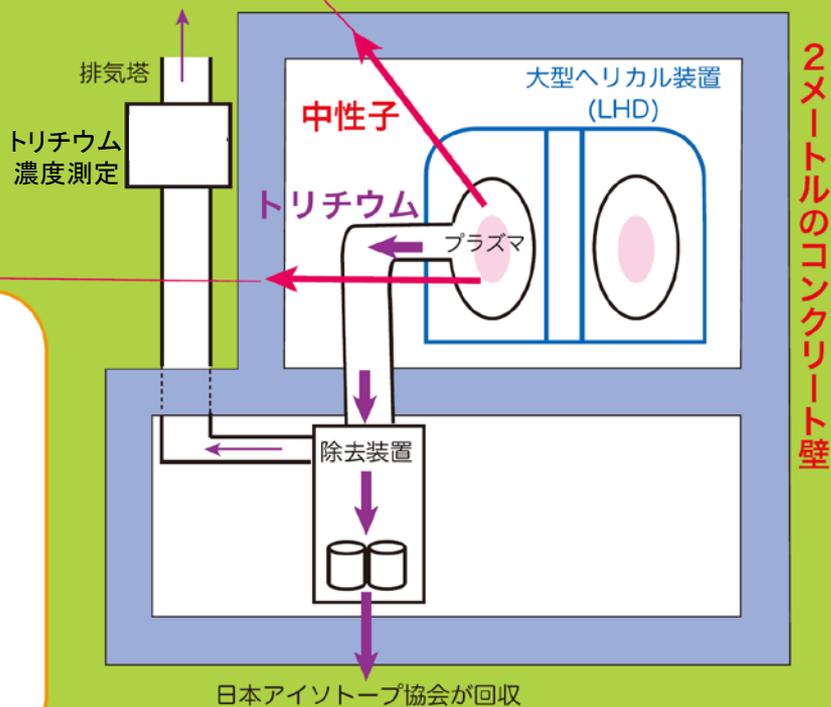
# 重水素実験の環境への影響



敷地境界

反射

1.3メートルのコンクリート天井



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 <sup>19</sup> 個 (各年度)		3.2x10 <sup>19</sup> 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孔の閉止処理を順次実施中、H25～27年度に主要な貫通孔の処理を行う。
- ・ 貫通孔閉止に伴うケーブル、レーザー光路等の処理(H25～27年度)
- ・ ポリエチレン板を一部の床面に試験的に敷設(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、H27～28年度に整備
- ・ 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～)
  - 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

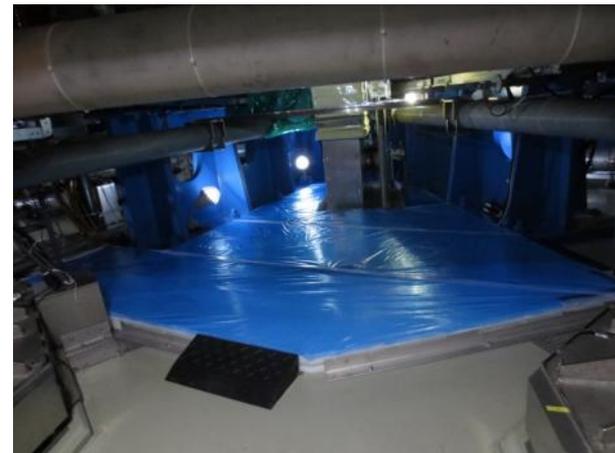
} H25年度～

# 中性子・ガンマ線対策

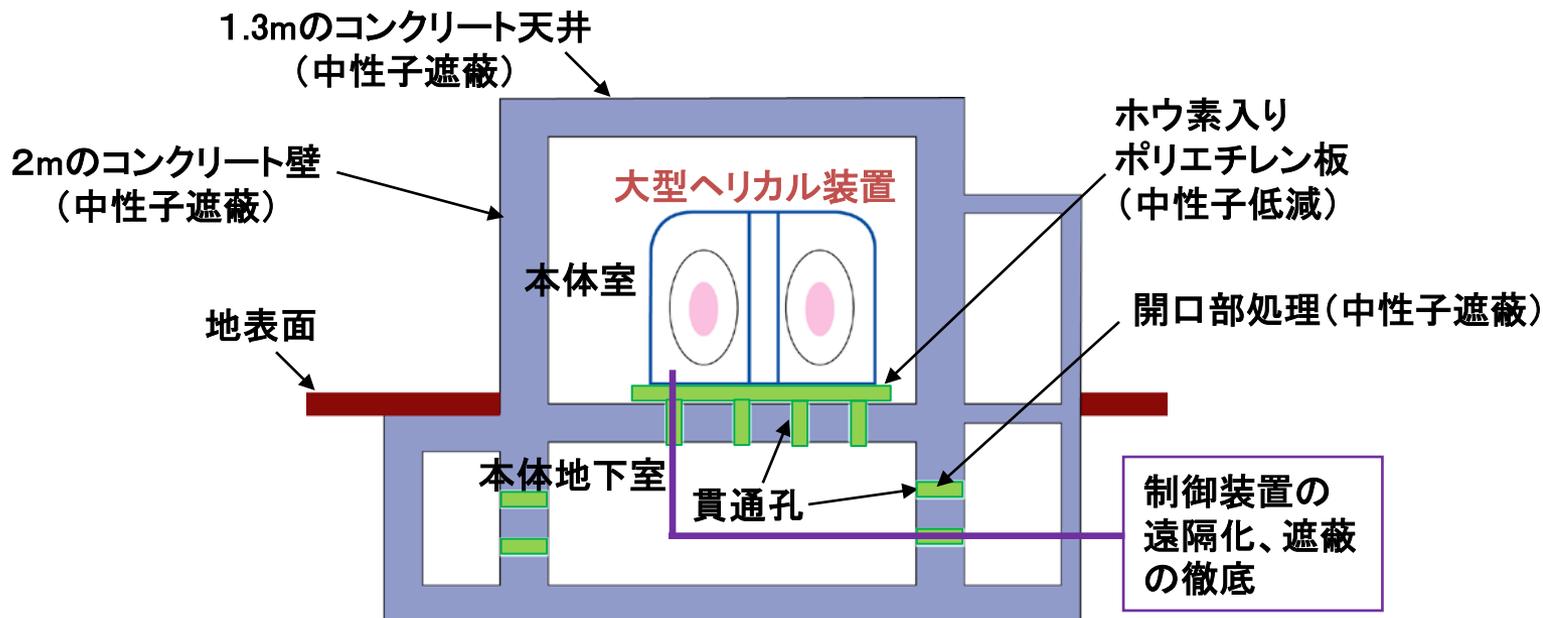


貫通孔埋めの様子

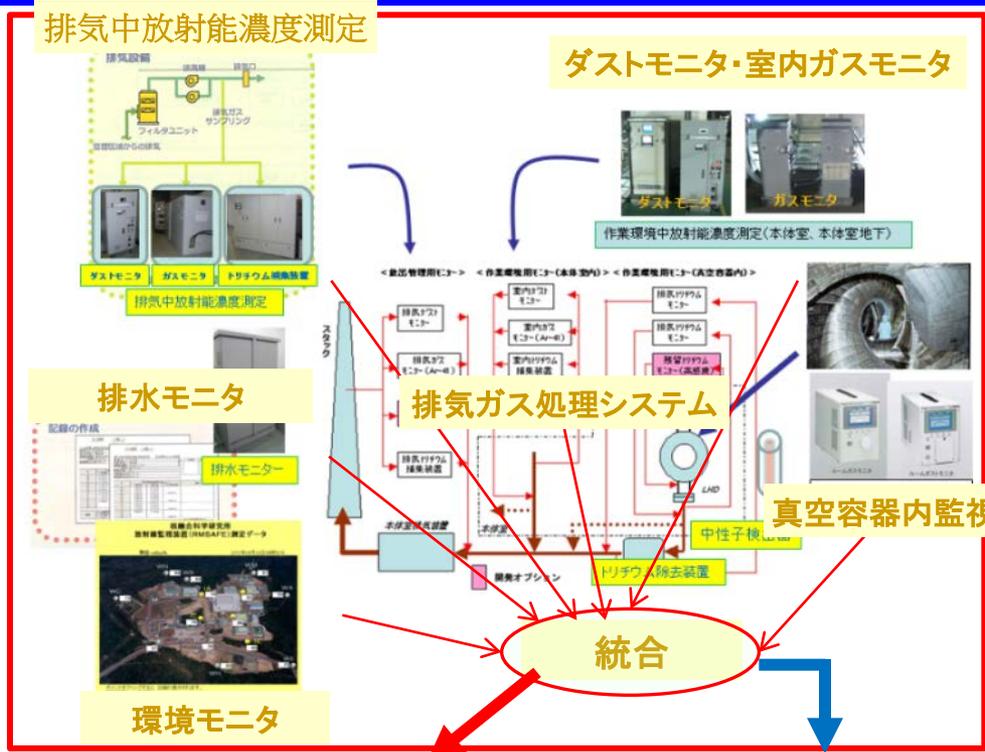
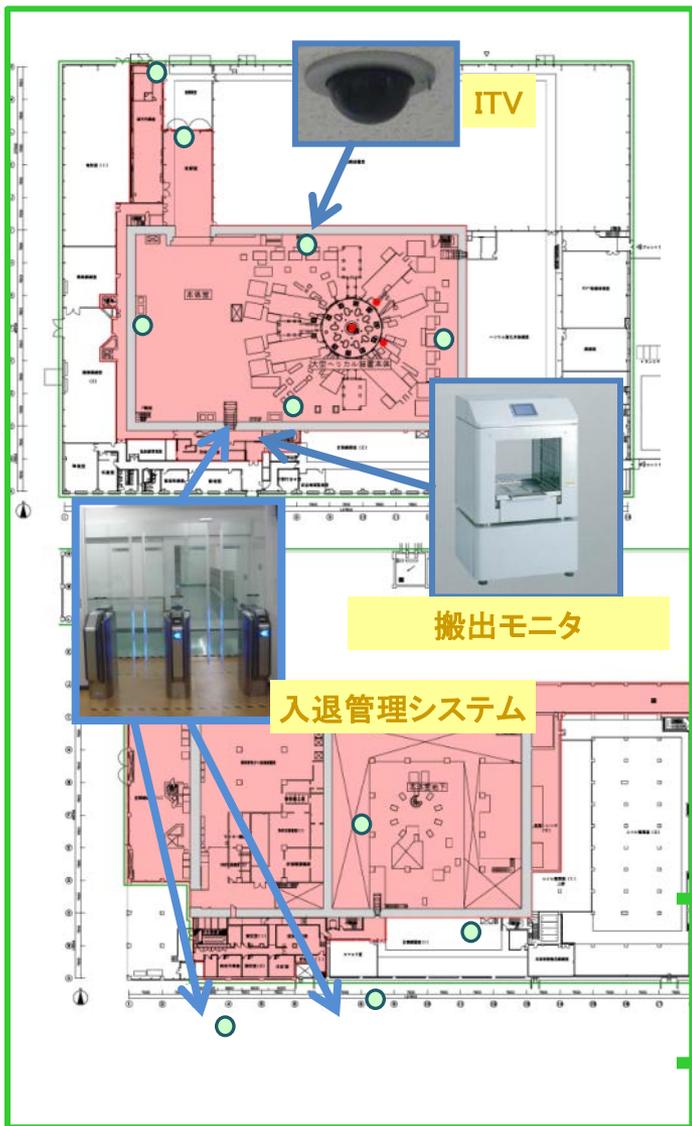
- 北側・南側壁の貫通孔処理はほぼ終了
- ポリエチレン板を一部の床面に試験的に敷設
- 各機器の遮へい、遠隔制御化、撤去機器のリストアップ等の検討



床上へのポリエチレン板の敷設



# 放射線総合監視システム



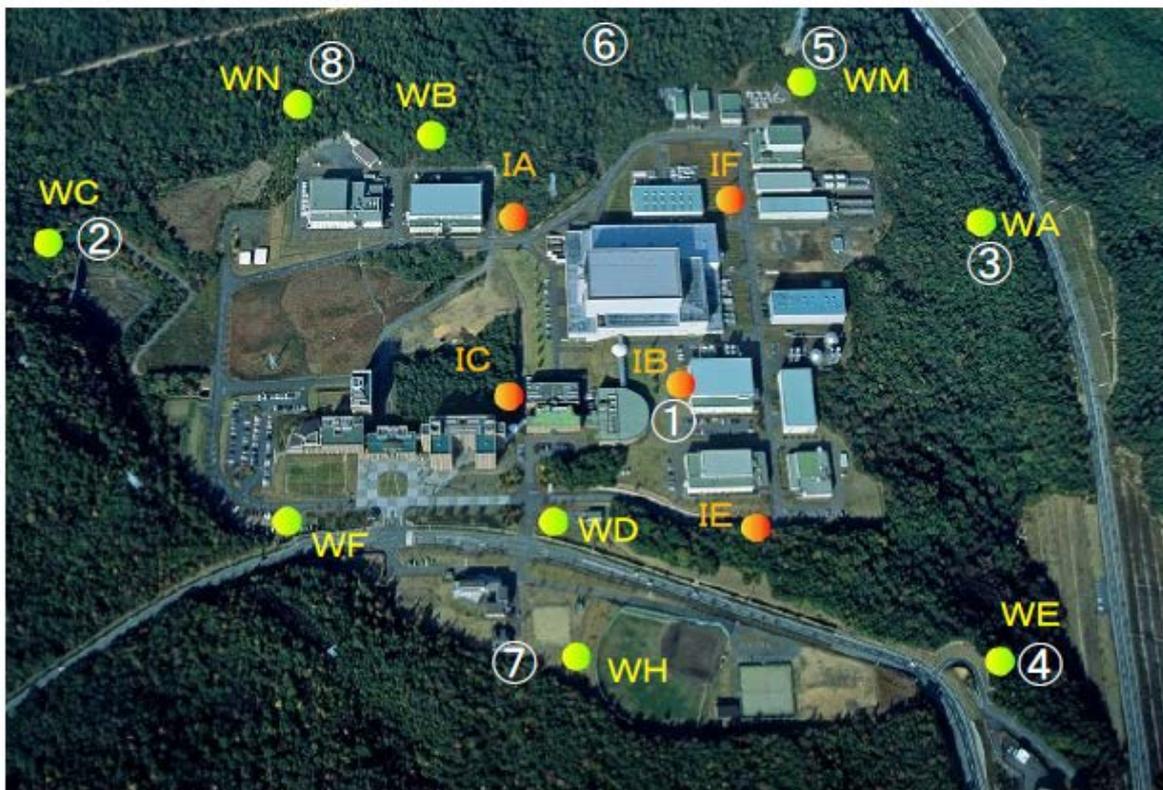
①インターロック      ②放射線総合監視システム



③ 大型ヘリカル実験棟の監視装置の改良



## 敷地境界及び実験棟周辺の放射線監視ポイント



$\Gamma$ (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)

## 大型ヘリカル実験棟内

測定器	管理計画	実験時
<b>本体室</b>		
$\gamma$ 線	6台	2台 } *1
中性子	必要数設置	9台 } *1
<b>本体室地下</b>		
$\gamma$ 線	4台	4台
<b>周辺室</b>		
$\gamma$ 線	7台	7台
中性子	5台	5台 *2
<b>屋上</b>		
$\gamma$ 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直近の $\gamma$ 線測定器を減。フィッションチェンバー3台、B10又は3He計数管6台の設置により、監視上の問題なし。

\*2 レムカウンタ4台、3He計数管1台

\*3 3He計数管1台

\*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

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 <sup>3</sup>	1週間平均濃度管理値: $8 \times 10^{-1}$ Bq/cm <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	1週間平均濃度管理値: $10^{-1}$ Bq/cm <sup>3</sup>		
	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: $2.1 \times 10^{19}$ /年 7-9年: $3.2 \times 10^{19}$ /年	別途、警報値を設定する	実験停止のインターロック機器
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 <sup>3</sup>	年間総排出量: 3.7 GBq 3ヶ月平均濃度管理値: $2 \times 10^{-4}$ Bq/cm <sup>3</sup>	総量及び濃度管理	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 <sup>3</sup>			
		ダスト(α線、β線)	連続	ダストモニタ	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		
		測定	ブラズマ実験期間	トリチウム(H-3)	連続	通気式モニタ	電離箱	リアルタイム	$7 \times 10^{-2}$ Bq/cm <sup>3</sup>	
排気処理量測定	真空排気処理系	トリチウム(H-3)	連続	通気式モニタ	電離箱	リアルタイム	$7 \times 10^{-2}$ Bq/cm <sup>3</sup>			
	バージガス処理系	トリチウム(H-3)	連続	通気式モニタ	比例計数管	10分	$1.2 \times 10^{-3}$ Bq/cm <sup>3</sup>	$5 \times 10^{-3}$ Bq/cm <sup>3</sup>		
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	液体シンチレーション法	10分	$3 \times 10^{-1}$ Bq/cm <sup>3</sup>	$6 \times 10^{-1}$ Bq/cm <sup>3</sup>		
		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 <sup>3</sup> 以下				
		放射化物	ポンプ採水	γ線水モニタ	固体シンチレーション法	10分	$10^{-2}$ Bq/cm <sup>3</sup> 以下	核種毎の法規制値		
			採水	ウェル型NaI(Tl)検出器	固体シンチレーション法	5時間	$4 \times 10^{-4}$ Bq/cm <sup>3</sup>			
	排気ガス処理システムの回収水タンク	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 <sup>3</sup> 以下			
環境放射線測定	敷地境界	X(γ)線	積算	ガラス線量計	輝尽蛍光法	1週間又は3月		50 μSv/年 (実験起因線量)		実験停止のインターロック機器
		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)				
		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)			
	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	10 μSv			
		中性子線	積算	クイクセルバッジ	固体飛跡検出法	1月又は3月				
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	
環境放射線測定	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 <sup>3</sup> 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	$3 \times 10^{-4}$ Bq/cm <sup>3</sup>		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

準備中の機器

整備済の機器

・順次整備を行い、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カウンター



貯留槽と排水モニタ



極低レベル液体シンチ  
レーションスペクトロメータ



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

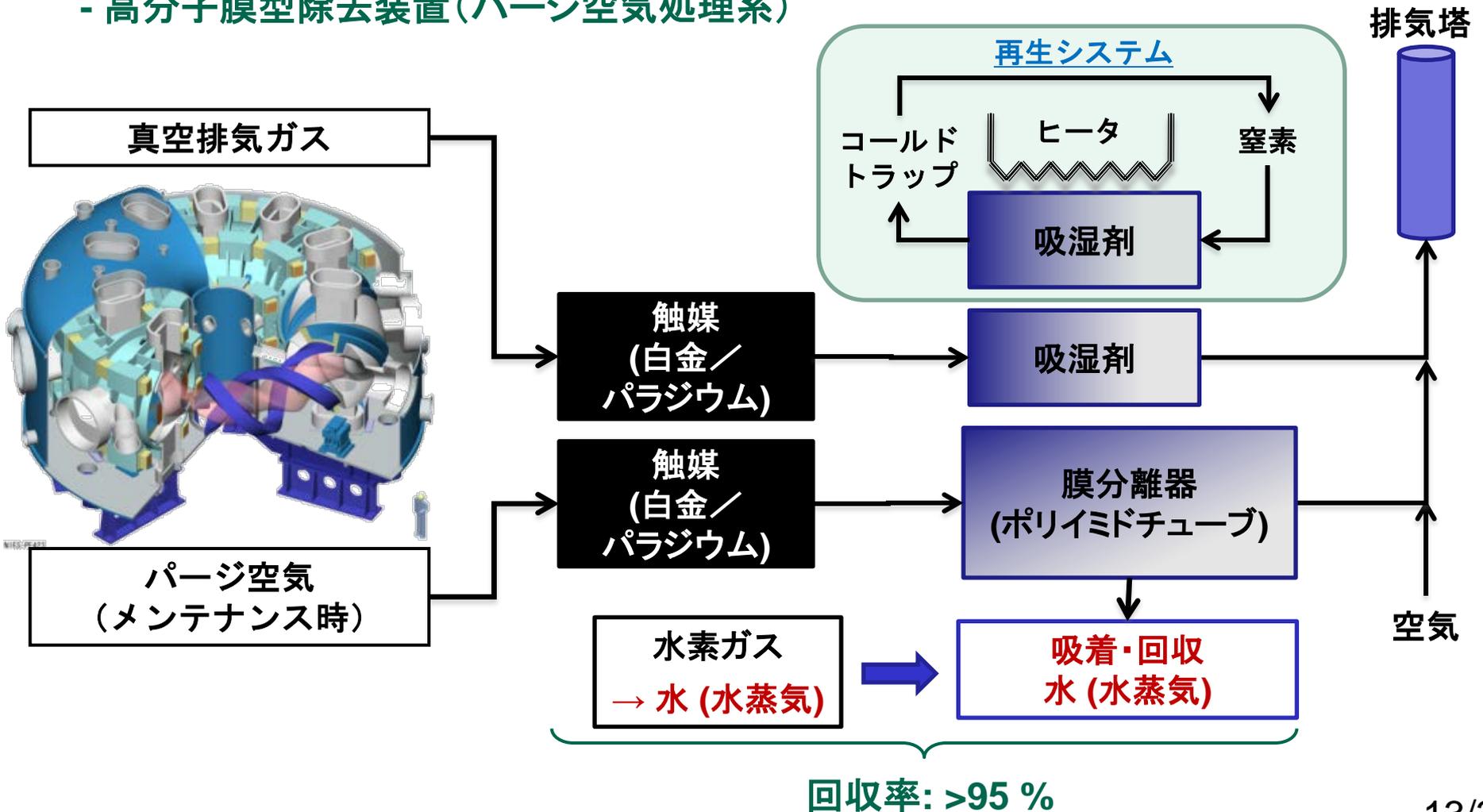


サーベイメータ

# 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)

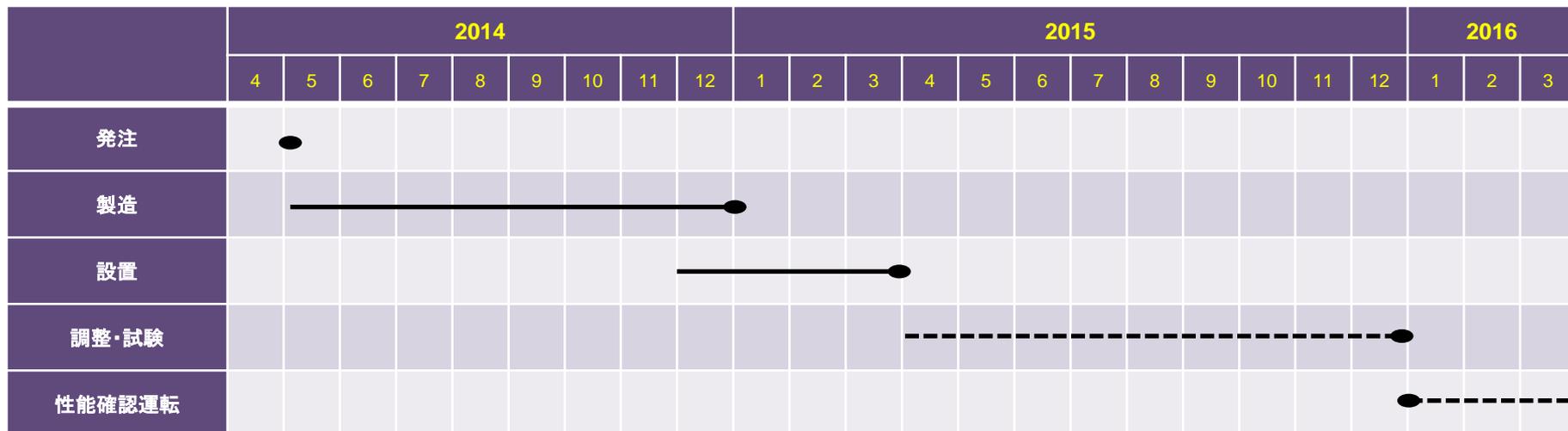




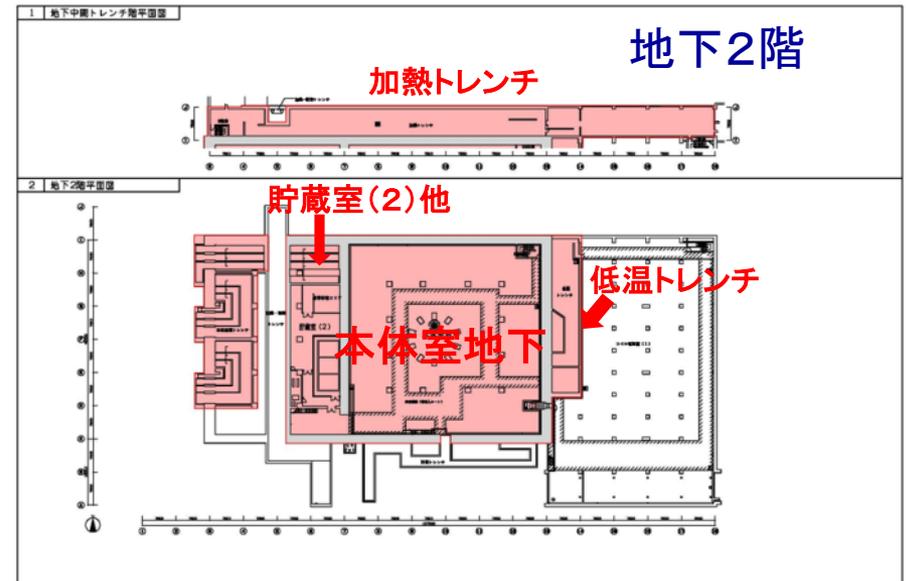
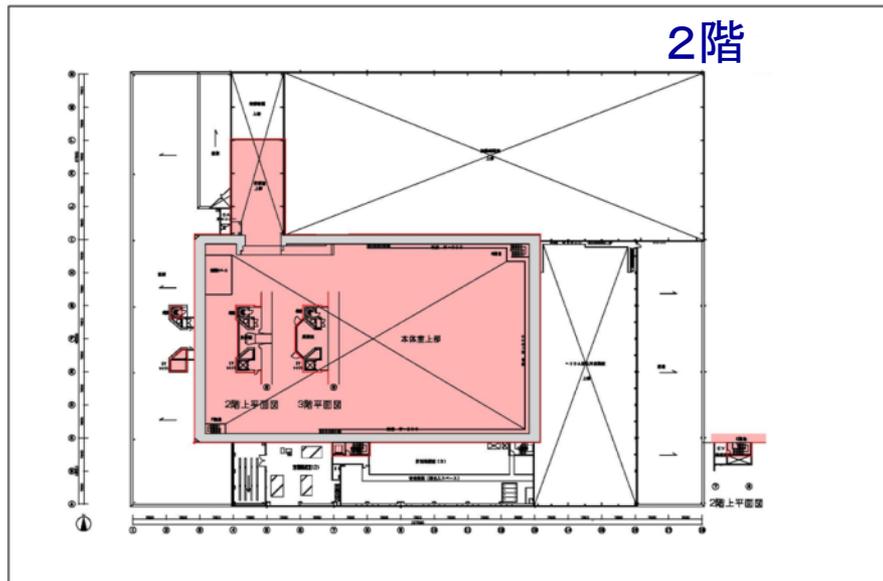
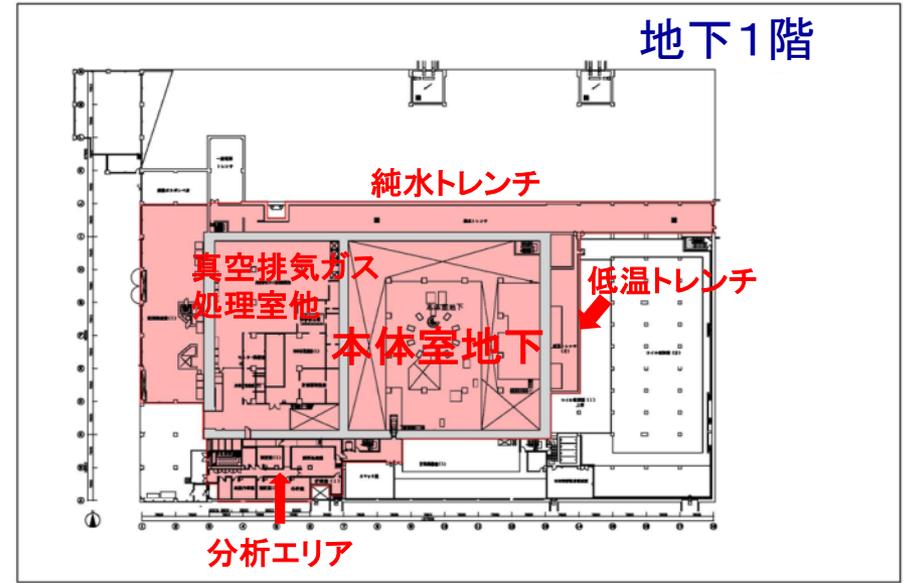
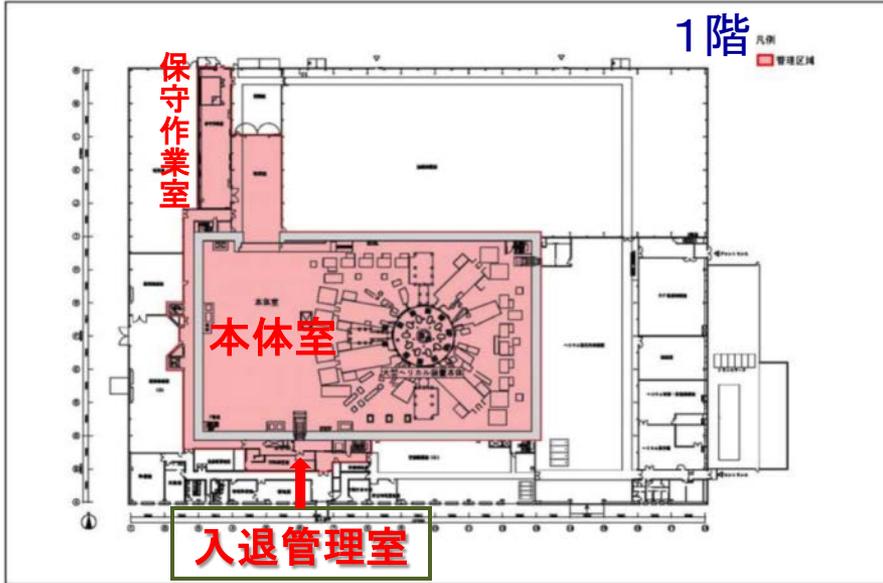
# トリチウム除去装置(排気ガス処理システム) 整備スケジュール

○H26年度に製造・設置、H27年度に調整試験後、軽水素実験で性能・安全性を確認予定

○現在、機器を設置中



# 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(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



# 第1期安全評価委員会報告(H19年11月16日) の留意事項に対する実施状況

重水素実験安全評価委員会最終報告(平成19年11月16日)の「まとめ」で指摘された  
「安全管理計画の策定に際しての留意事項」  
に対する実施状況

- 放射線の安全性の監視に向けた精度の高い測定
  - ・高精度測定器(フィッションチェンバー)と較正用線源(カリフォルニウム)を用いた精度の高い中性子計測システムの設計が完了、製作中(H26年度)
  - ・較正実験へ向けた準備試験をLHD真空容器内で実施(H26年度)
  
- 微量放射線に対する管理システムの構築及び運用
  - ・大気、河川、植生に対する環境トリチウム監視の高精度測定手法の開発と運用(H25年度)
  - ・微量のトリチウム排出監視モニターの試験運用を開始(バックグラウンドの測定)(H25年度)
  
- 第三者により監視を行う組織の設置の検討
  - ・協定書・覚書に基づいて、関係自治体が安全監視委員会を設置  
→H27年1月28日に第1回委員会を予定
  
- 地域住民の安全・安心に関する信頼の確保と周辺環境保全に関する協定の早期締結
  - ・平成25年3月28日に関係自治体と協定書等を締結
  - ・協定締結後も市民説明会を継続的に実施(H26年度:23会場309名)

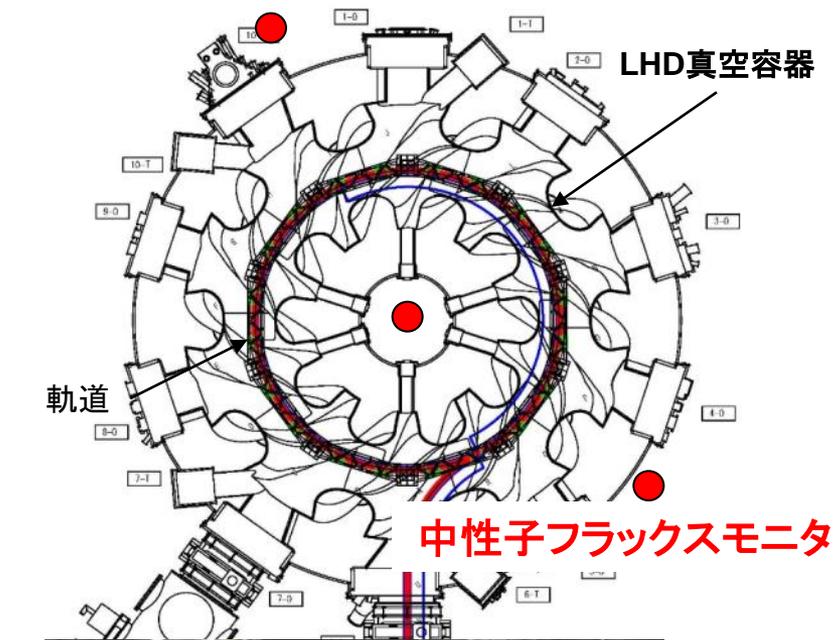


## 精度の高い中性子計測システム

- 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
- 重水素実験開始前にカリフォルニウムを用いた絶対校正実験を行う  
→LHD真空容器内で準備試験を実施(H26年度)

# $^{252}\text{Cf}$ 中性子源を用いた 中性子フラックスモニタの絶対較正

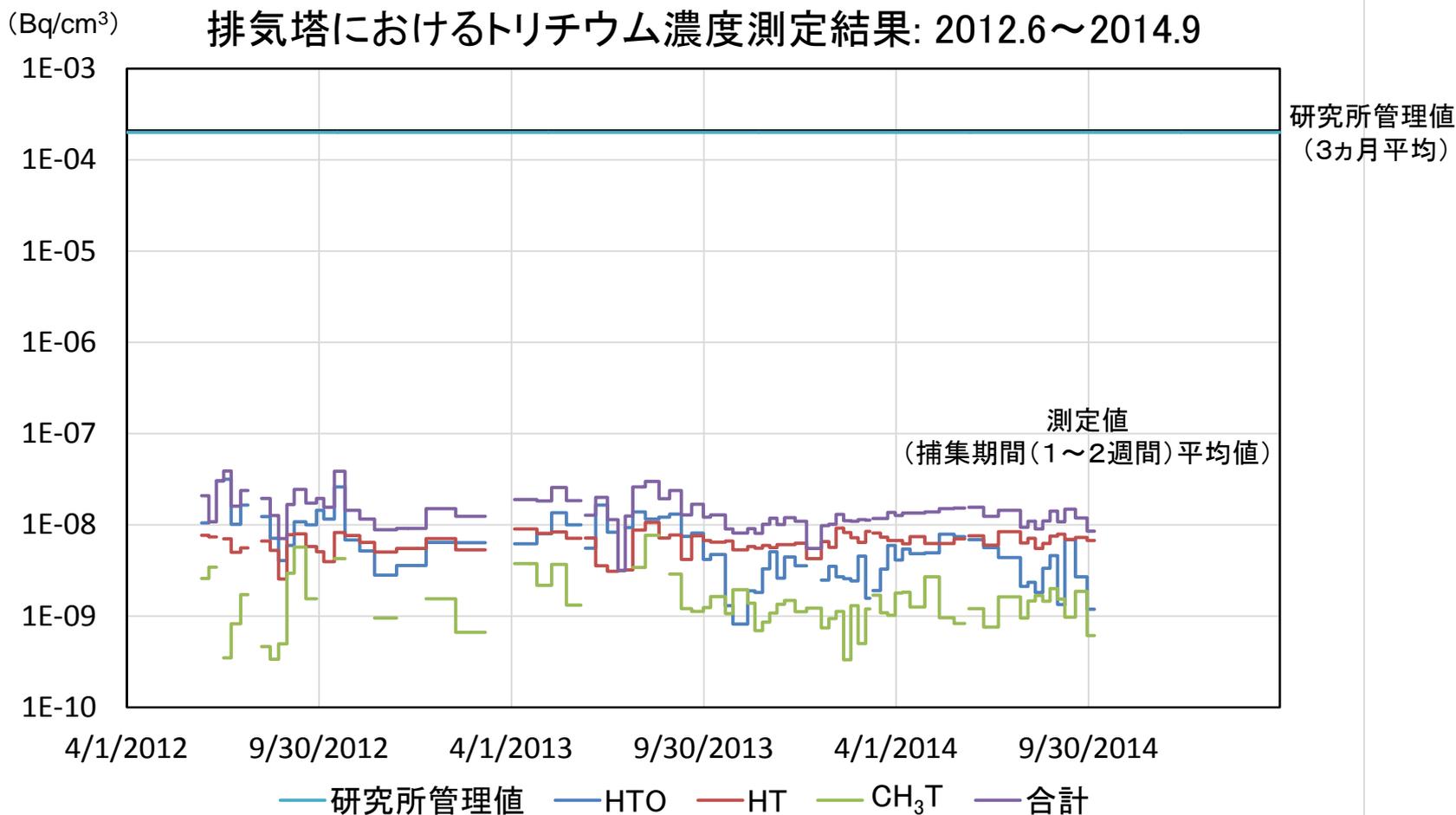
## 中性子絶対較正システム



- 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2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.

- ・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。
- ・現在、排気塔において実験前の基礎データ(バックグラウンド)の取得を行っている。





# 東日本大震災を教訓に再検討した安全管理計画 において充実を図った事項に対する実施状況

## ○重水素実験時の運転方法の見直し

- ・「プラズマ生成の起動を手動で行う」ための制御装置の改造をH27年度に実施予定

## ○環境放射線測定の実施

- ・「核種を判別できるモニター」 環境中の放射性核種のモニタリングを開始(H26年度)
- ・「環境放射の線量マップの作成」を可能に(H26年度)

## ○電源喪失対策の強化

- ・10日間運転分の燃料を備えた100kW級の「非常用発電設備」をH25年度に設置

## ○通報・監視体制の強化

- ・衛星電話の整備を調査・検討。試験運用として2端末を26年度中に導入予定
- ・非常時に自治体へ人を自転車で派遣することを試行(H25年度)

## ○非常時体制の確立

- ・自衛消防業務講習の受講等、体制の強化(H25年度～)

## ○放射線管理区域の設定変更

- ・一箇所での入退出管理を行うよう管理区域を一元化設定。試験運用を開始(H26年度)

## ○災害・事故時の対応の強化

- ・災害・事故時の対応マニュアルの整備。緊急時の資機材調達ルート確保(H26～)
- ・火災用資機材、トリチウム用防具の設備の強化(H27年度)

## ○訓練の実施

- ・H26年度LHD実験期間中の消火訓練を4回実施、内2回は重水素実験を想定して実施
- ・今後、マニュアル等に基づいた訓練を頻度高く実施(H26年度～)

雨水捕集装置



ハイボリューム  
エアサンプラ



大気降下物捕集装置



表層土壌採集



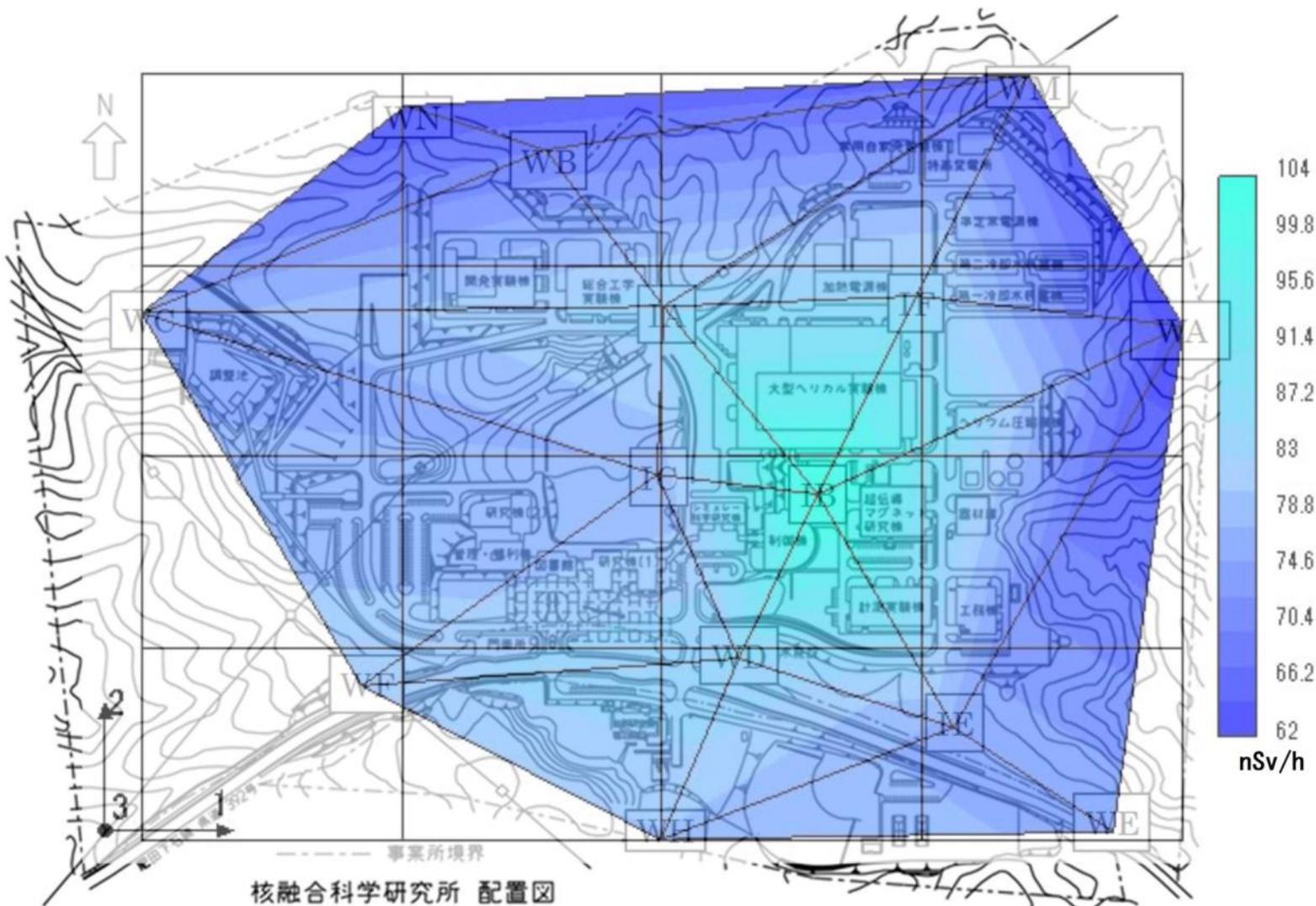
大気捕集装置  
大気中水蒸気(HTO)測定



- ・環境中の放射性核種のモニタリングを目的として、雨水、大気中の塵、大気降下物、及び表層土壌の収集を行っている。
- ・パッシブサンプラーと呼ばれる大気中水蒸気に含まれるHTOの測定を開始。

# 環境放射の線量マップ

- ・環境放射の線量マップの作成を可能とした。



# 衛星電話の整備

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



- ・衛星電話は、土岐市、多治見市、瑞浪市及び岐阜県(東濃振興局)に各1台とし、研究所が無償貸与する。
- ・研究所は、全国の地方自治体を結ぶ「地域衛星通信ネットワーク」には加入できないため、他の衛星電話サービスを利用する必要があることから、衛星電話の端末(ファクシミリ送受信のための周辺機器を含む)については、NTTドコモの「ワイドスター」やKDDIの「インマルサット」を検討中。
- ・試験運用として、2端末を平成26年度中に導入予定。(導入予定先:土岐市、岐阜県(東濃振興局))

NTTドコモ「ワイドスター」

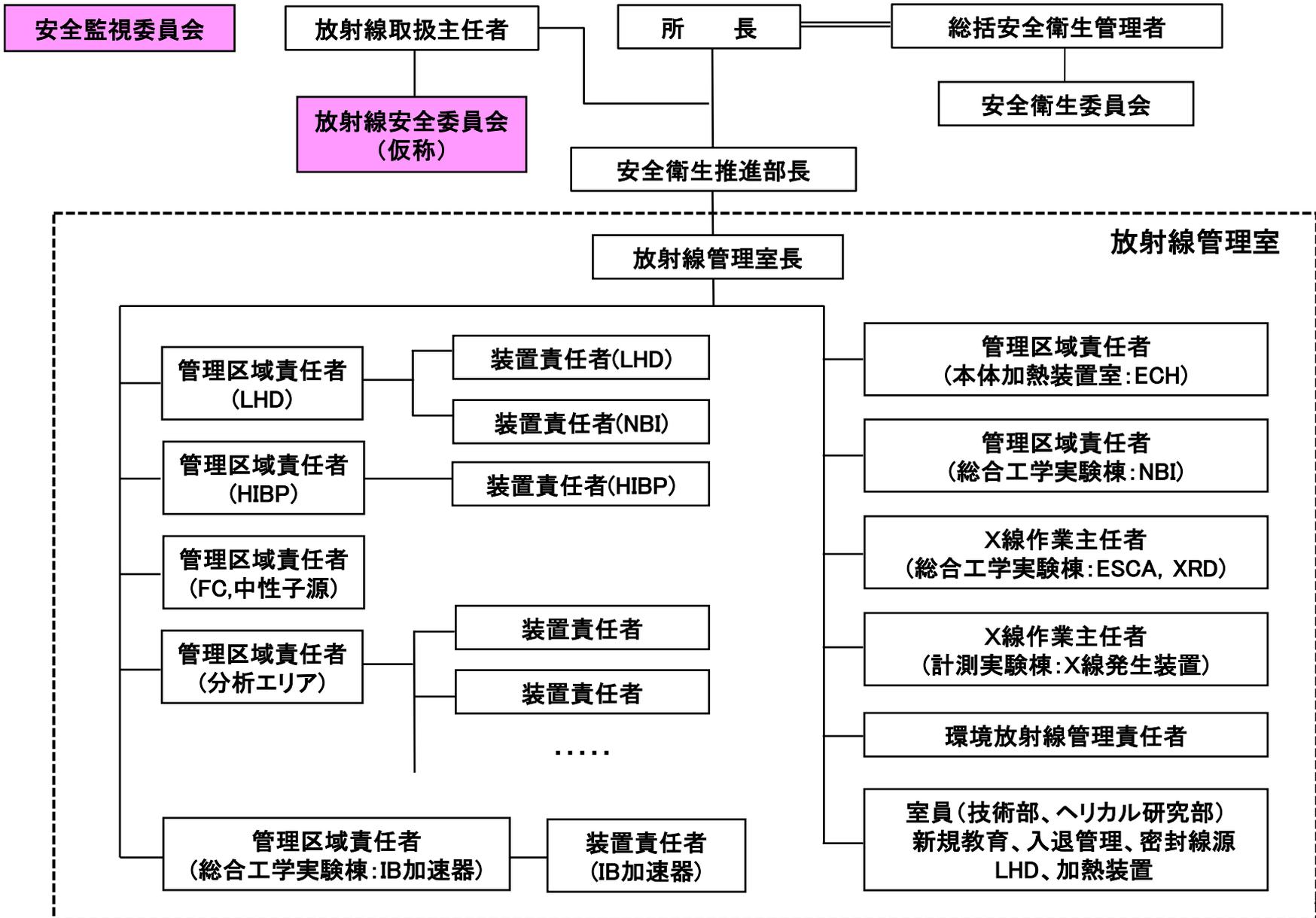


KDDI「インマルサット」





# 放射線安全管理組織（重水素実験開始後）





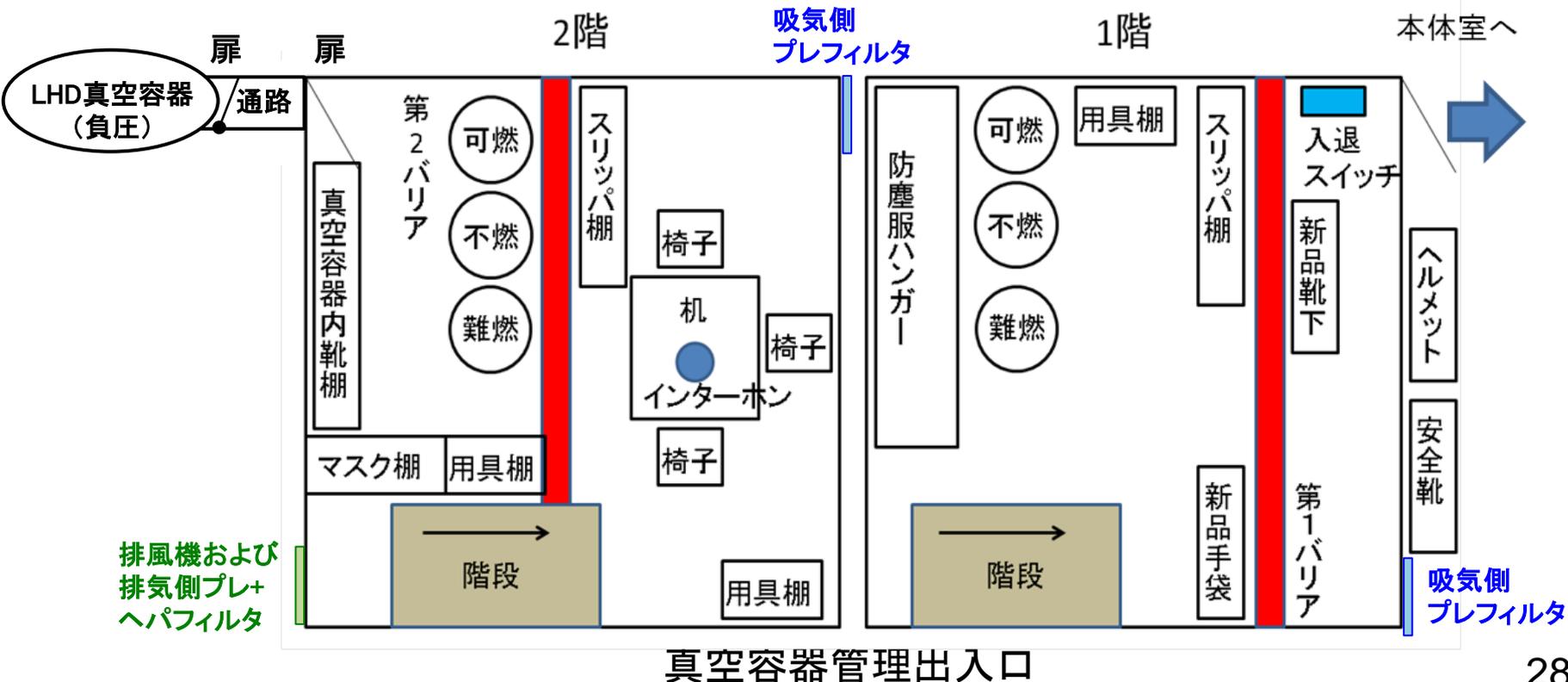
## LHD真空容器入口に「真空容器管理出入口」を設置

### 真空容器管理出入口の概要

- 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バリア、第2バリア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。

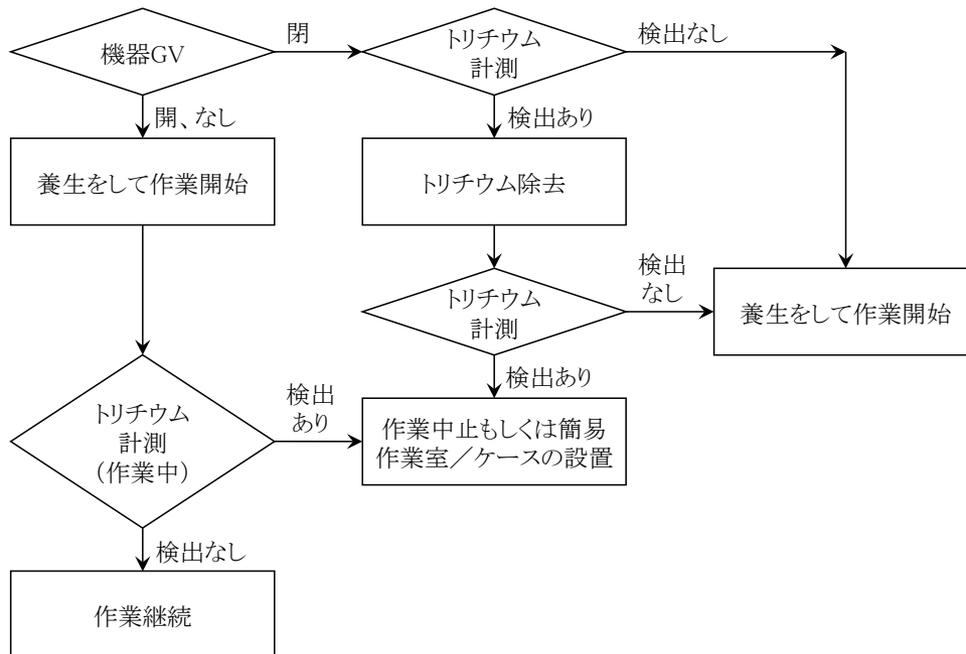
### 管理出入口における真空容器内作業における手順

- 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



# ポート作業(真空関連作業)手順の確認

- LHD本体室へのトリチウム流出を最低限に抑える。
- 富山大学水素同位体科学研究センターにおいてトリチウム安全取扱い研修を受講・修了した職員と運転員のみが行う。



- ポート作業中、LHD真空容器内は**負圧にゲートバルブが閉状態の機器**

- トリチウムモニタにより、残留トリチウムを計測
- **トリチウム除去の確認後、適切な養生のもと作業を行う。**
- **トリチウムが除去できない場合、作業を中止するか、簡易作業室/ケースを設置して作業を行う。**

**ゲートバルブが開もしくは無い機器**

- トリチウムモニタによる計測を行いながら作業を行う。**トリチウムが検出された場合、作業を中止するか、簡易作業室/ケースを設置して作業を行う。**



# トリチウム安全取扱い研修プログラム (富山大学水素同位体科学研究センター)

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)	オリエンテーション (1)センター長挨拶 (松山) (2)研修について (西村) (3)教育訓練 (水素研予防規 程) (阿部)	休憩	講義	講義・実習
(2日目)	共同 利用 控室 (集 合)	講義・実習 (1)真空装置作業説 明(鈴木・林) (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)	休憩	実習 (1)フランジ作業 (2)真空排気		昼食	実習 (1)QMASS確認 (2)リークチェック (3)チャンパー大気開放 (4)トリチウム濃度測定		休憩	実習 フランジ作業 (作業者を変えて)	
(3日目)	共同 利用 控室 (集 合)	実習 片づけ、廃棄物処理、 汚染検査	休憩	実習 スミア・サーベイメータ、 液体シンチレーション実 習	修了式	昼食					



## 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
- ・自衛防災隊の工作班に、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
- ・H26年度は4回実施、内2回は重水素実験を想定して、緊急時の入室手順等を確認して実施

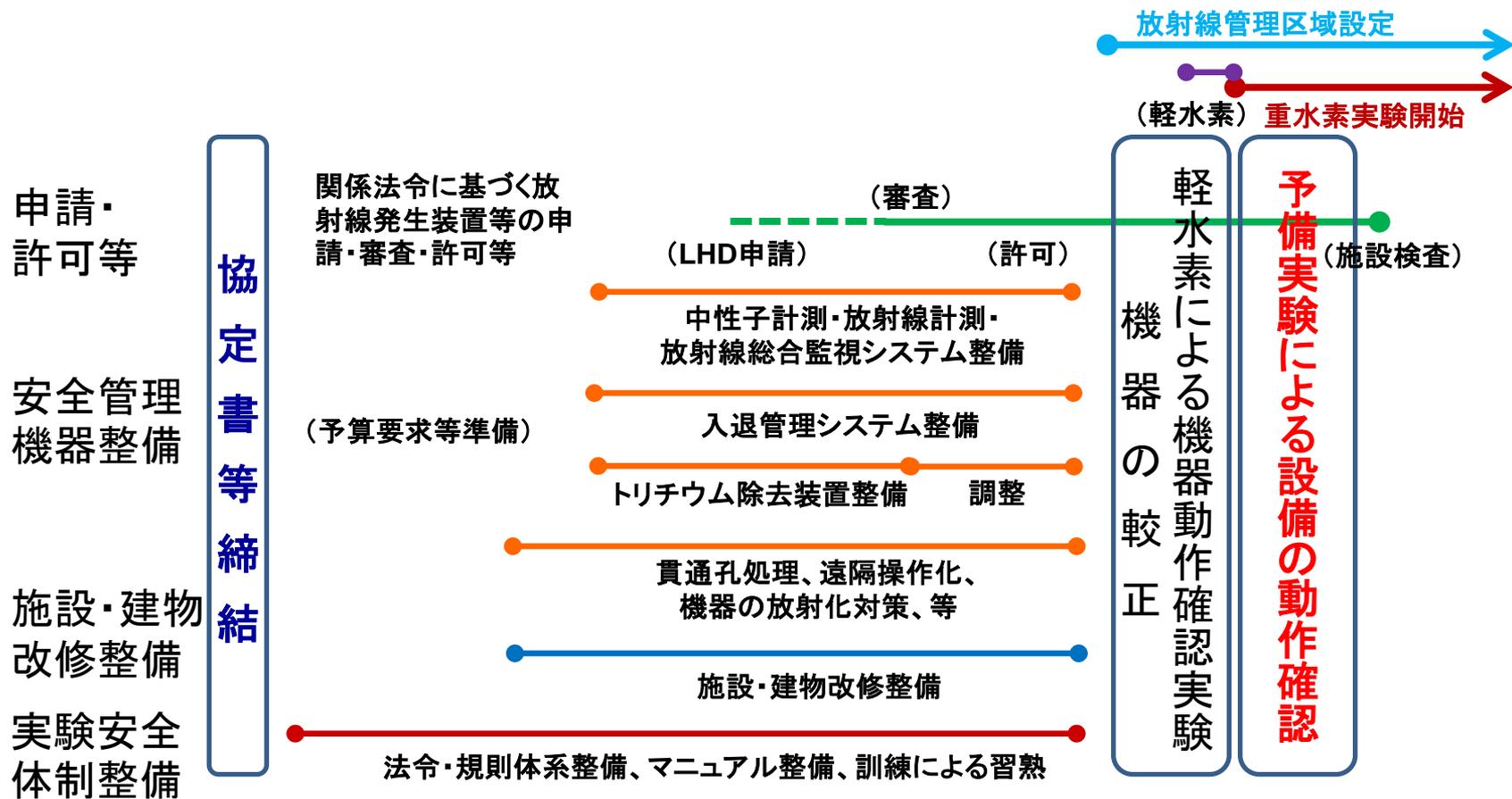


LHD消火訓練の様子



# 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)、非密封線源取扱(分析関係等)

H26年度中に申請

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:カリフォルニウム252)

H27年度に購入予定 →管理区域の設定 →中性子計測校正

## ○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年度末に納入予定

→納入後管理区域(保管エリア)の設定

# まとめ

- 平成28年度中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・回収装置は製造・設置が進行しており、H27年度に軽水素実験による試験調整運転を開始する予定である。
- 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も進んでおり、放射線総合監視システムの設計も完了した。
- 管理区域の整備、貫通孔処理、排気・排水処理、等の施設整備も順次進めている。
- 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も順次進めている。
- 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。