

平成19年1月19日  
重水素実験安全評価委員会資料

# 大型ヘリカル装置における重水素実験 の安全管理計画(案)

自然科学研究機構 核融合科学研究所  
大型ヘリカル研究部  
研究総主幹 小森彰夫



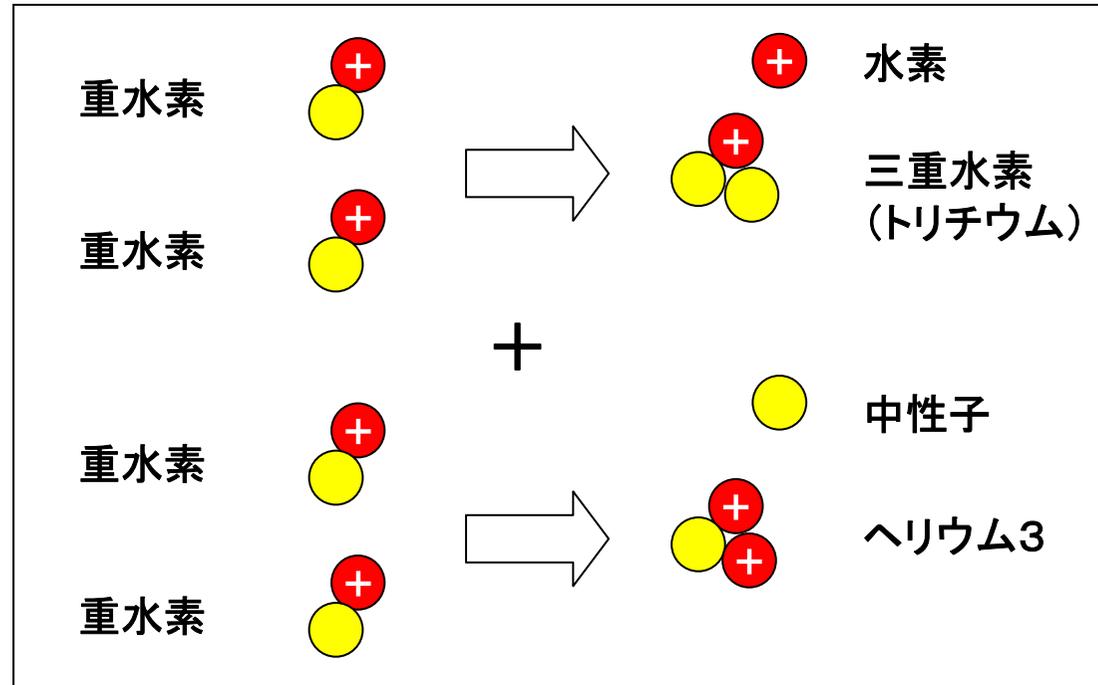
## 発表目次

---

1. 重水素実験で生じる放射線
2. LHD重水素実験計画概要
3. トリチウム対策
4. 中性子対策
5. 本体室への入退管理対策
6. 排水などの処理
7. 安全管理に必要な計測機器
8. 研究所管理値の遵守
9. 災害の発生と重水素実験
10. 重水素実験情報の地元自治体への通知、公表など
11. まとめ



# 重水素実験で生じる放射線 重水素実験の核融合反応



実験に使用した重水素の0.01%以下の僅かな量が反応

↓  
トリチウム } 対策が必要  
中性子 }



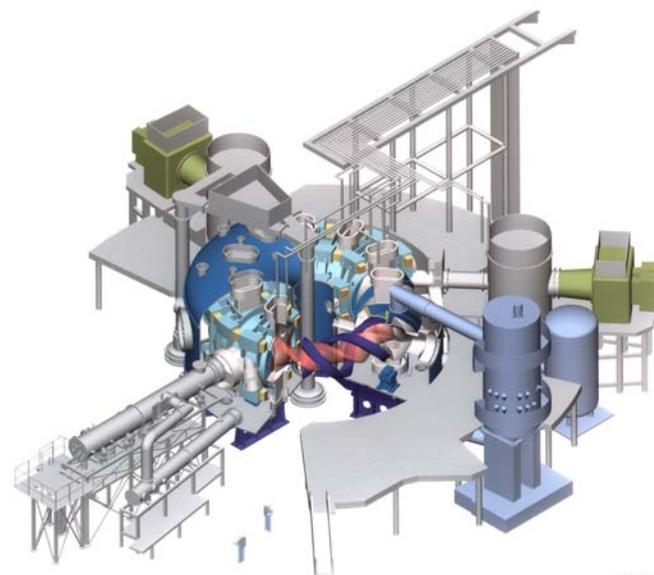
## 放射線対策の目的

---

重水素実験は、十分な放射線対策を行って実施し、地域の皆様の安全を第一に考える

また、本研究所勤務者が研究所内でリスクを負わない適切な環境を実現して、重水素実験を実施することが重要と考える

これにより、地域の皆様の安全を担保するとともに、研究所に対する信頼と安心感を持って頂けることが可能となる



NIFS-PE266



# LHD重水素実験計画概要

## 実験条件

2. 1

### 〔加熱条件〕

#### 1) 中性粒子加熱装置(NBI)

- ・接線入射型：現在の加速電圧**180keV**で重水素に対応
- ・垂直入射型：加速電圧**80~60keV**の重水素対応NBIを整備
- ・入射パワー：垂直**18MW** + 接線**14MW** の**32MW**

#### 2) イオンサイクロトロン共鳴加熱装置(ICRF)

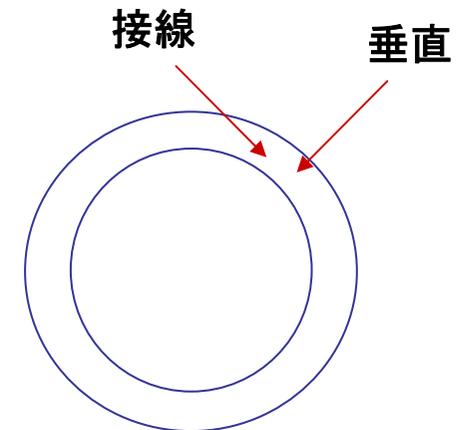
- ・定常 : **1時間3MW**
- ・短パルス : **8MW**

#### 3) 電子サイクロトロン共鳴加熱装置(ECH)

- ・高密度対応 : **154GHz5MW**

### 〔放電時間〕

- 1) 通常実験 : 3秒
- 2) 定常実験 : 1時間

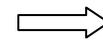


連続したプラズマ生成の単位 → 「ショット」と呼ぶ



# 予想されるプラズマと最大中性子発生量

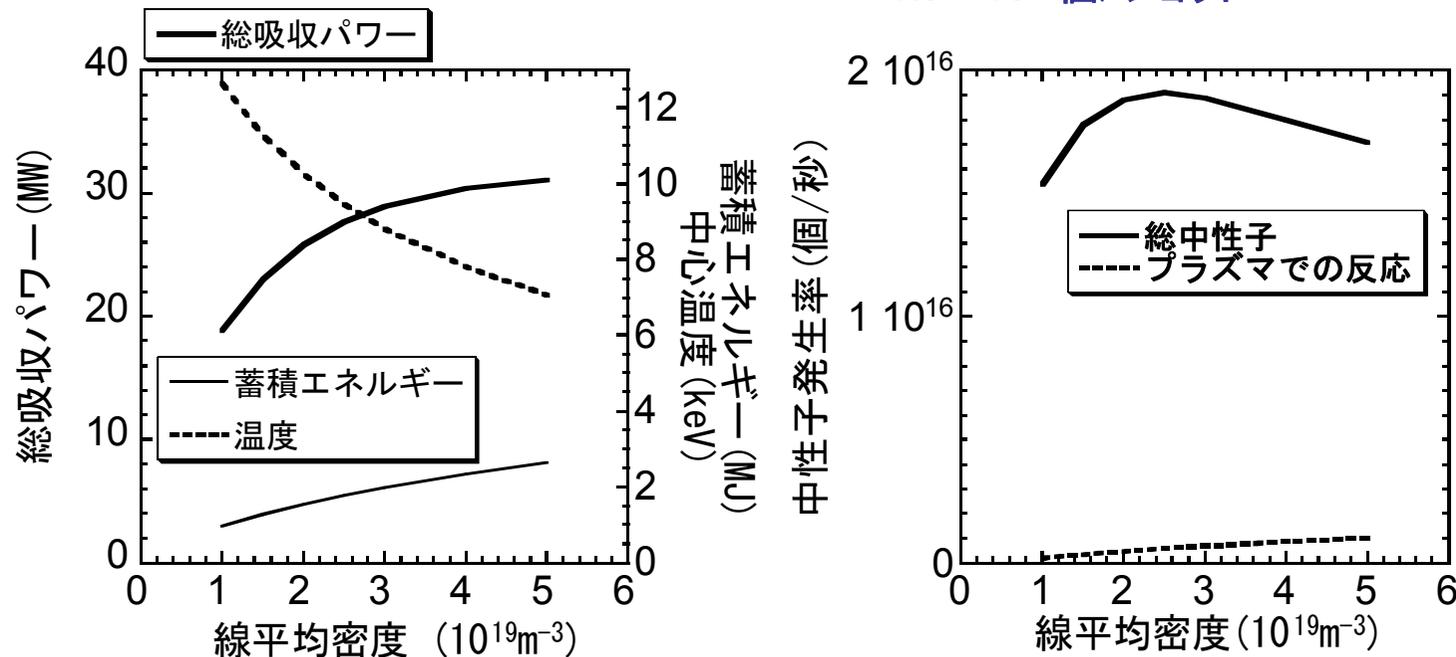
磁場強度 3 テスラ  
 NBI 接線180keV 14MW(重水素)  
 垂直80keV 18MW(重水素)  
 ICRF + ECH 合わせて3MW



閉じ込め改善度 現在の1.33倍  
 線平均密度 25兆個/cc  
 中心温度 1億1千万度  
 蓄積エネルギー 177 万ジュール  
 中性子発生率  $1.91 \times 10^{16}$ 個/秒  
 (このうち熱中性子反応は $5.98 \times 10^{14}$ 個/秒)

最終目標値

定常実験(ICRF): 中性子発生率 $2.9 \times 10^{13}$ 個/秒 → 1時間運転の中性子発生量  
 $1.0 \times 10^{17}$ 個/ショット





# 標準プラズマと中性子発生量

3. 2. 3

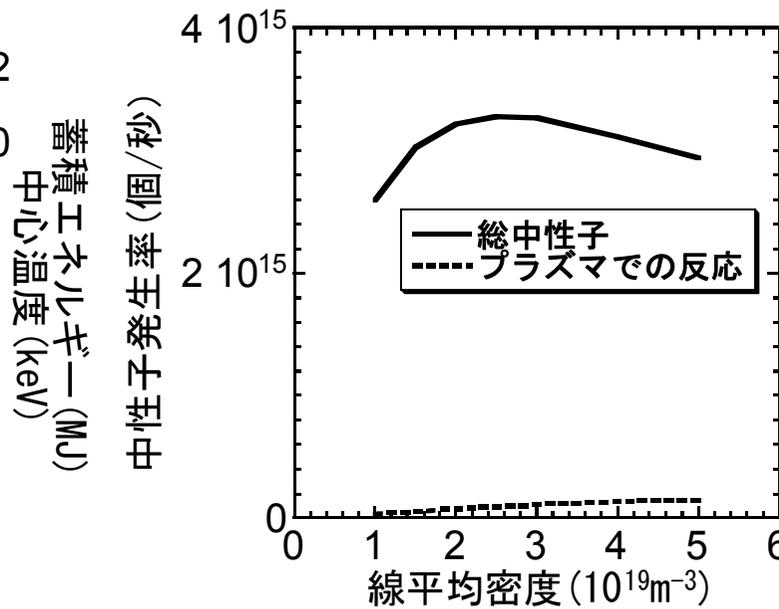
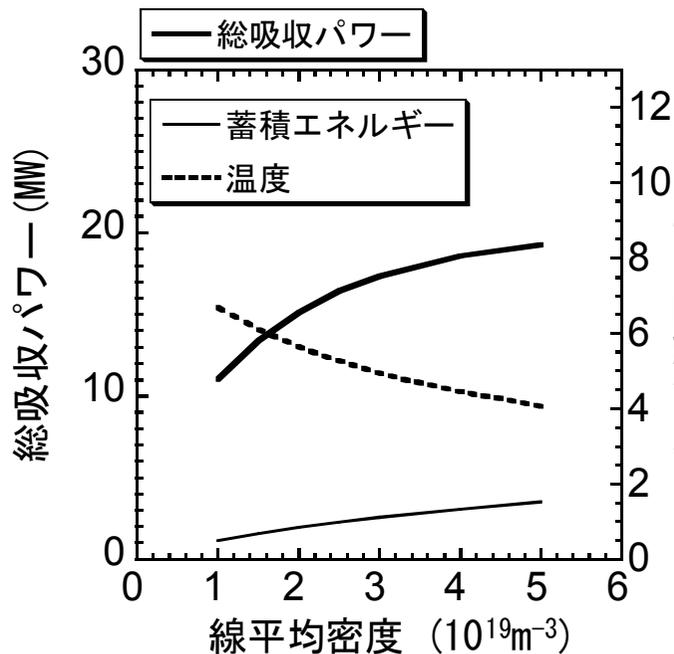
最大の加熱パワーでのプラズマ生成は限られている → 標準プラズマ設定

磁場強度	3 テスラ	閉じ込め改善度	現在と同じ
NBI 接線180keV	3MW(重水素)	線平均密度	25兆個/cc
	5.4MW(水素)	中心温度	6千万度
垂直80keV	10.8MW(重水素)	蓄積エネルギー	99 万ジュール
		中性子発生率	$3.28 \times 10^{15}$ 個/秒

ICRFとECHは、中性子発生源がNBIの高速重水素イオンとプラズマ中の重水素との反応であることから、計算に用いない

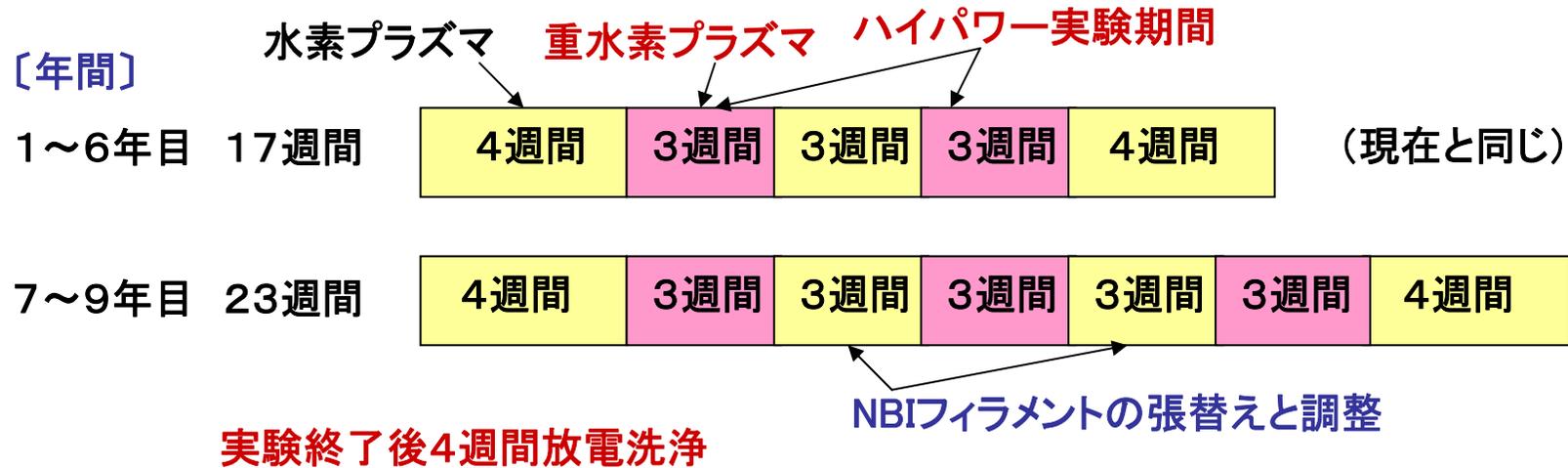
(このうち熱中性子反応は $9.69 \times 10^{13}$ 個/秒)

約2,000~3,000重水素標準プラズマショット/年





## 重水素実験実施計画例



〔週間〕 実験は 火曜日～金曜日  
月曜日はメンテナンス

〔実験日〕 実験 10時～18時45分 (NBI入射は11時～18時45分)

1日のショット数

最大中性子発生量の重水素ショット 15分間隔で1日約30ショット(目安)



## 年次計画

1. 3. 1

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  
的研究計画へ転換

	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 (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	$2.1 \times 10^{19}$ 個 (各年度)		$3.2 \times 10^{19}$ 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



予備的実験によって、コンクリート遮蔽壁、トリチウム除去装置および周辺環境監視装置等が所期の性能を発揮し、かつ、所定の安全性確保上の態勢も十分機能していることを確認



所期の性能を確認できなかった場合には、公表後、機器の改修、遮蔽増強などを行う

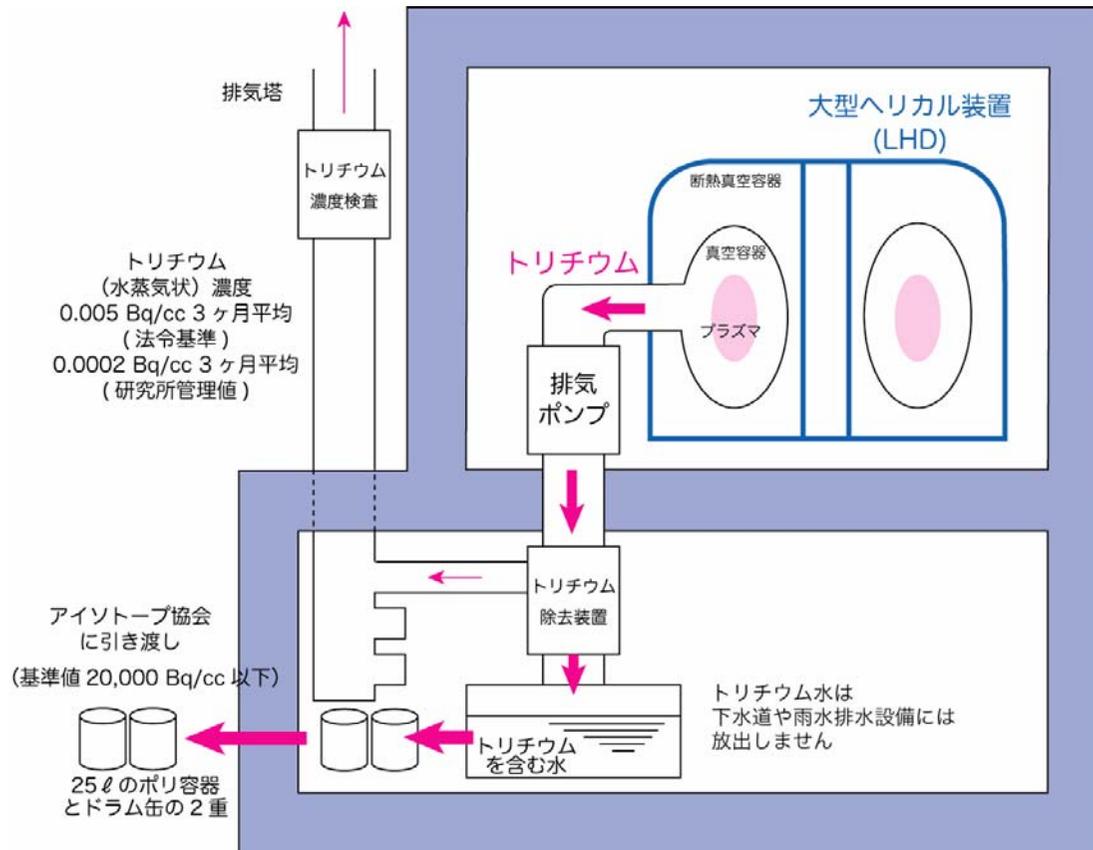


再確認



## トリチウム対策

### 重水素プラズマ実験中に発生するトリチウムの除去

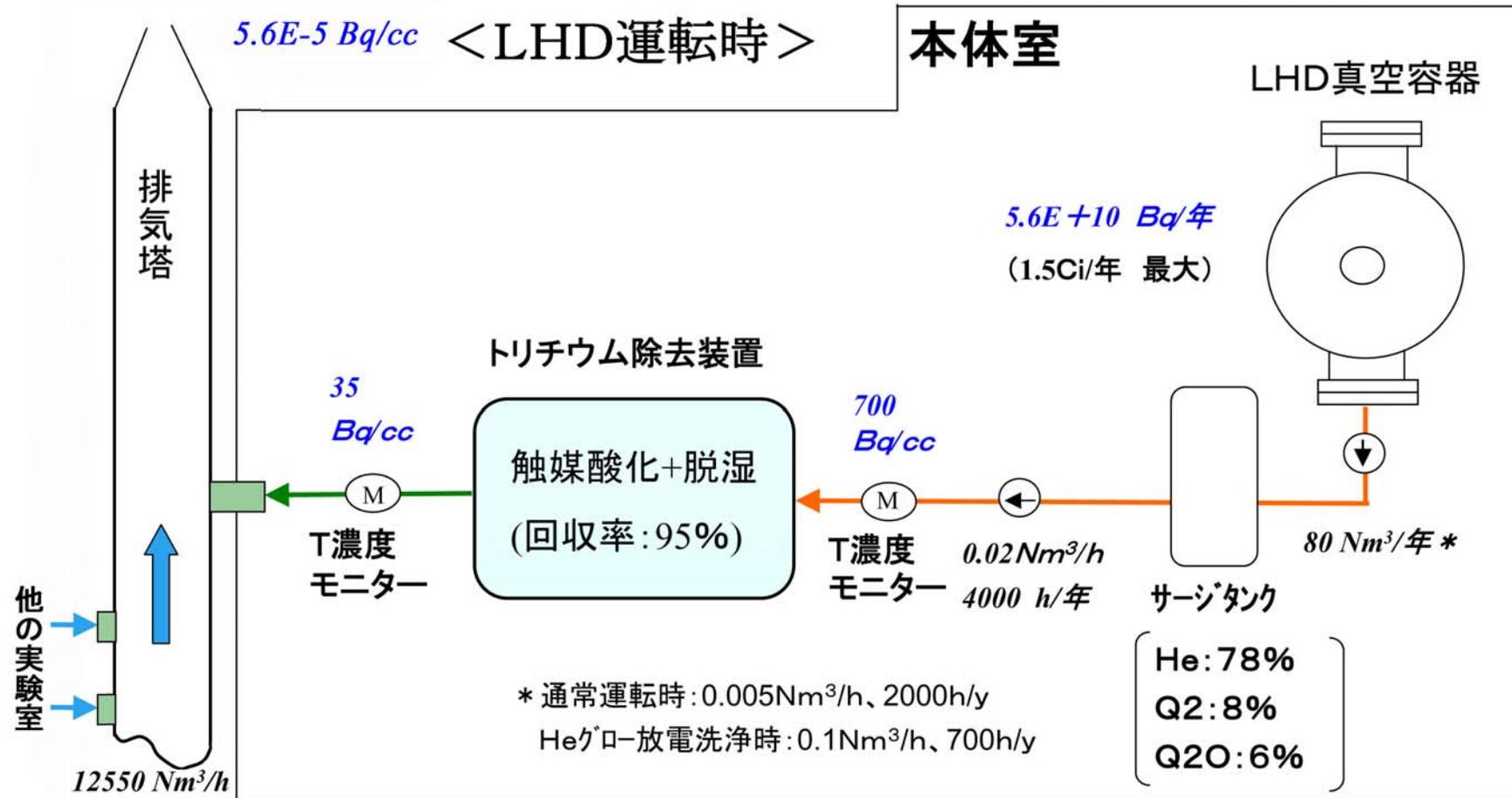


1. 発生する微量のトリチウムの大部分は、排気ガスとして、真空排気ポンプを経由してトリチウム除去装置に導き、水の形で除去・回収
2. トリチウムを除去した排気ガスは、トリチウム濃度が**研究所管理値(0.0002Bq/cc)**以下であることを確認しながら、建屋排気塔から外気に放出
3. トリチウム除去装置により回収されたトリチウムを含む水は、**保管容器**に密封保管後、日本アイソトープ協会に引き渡して処分



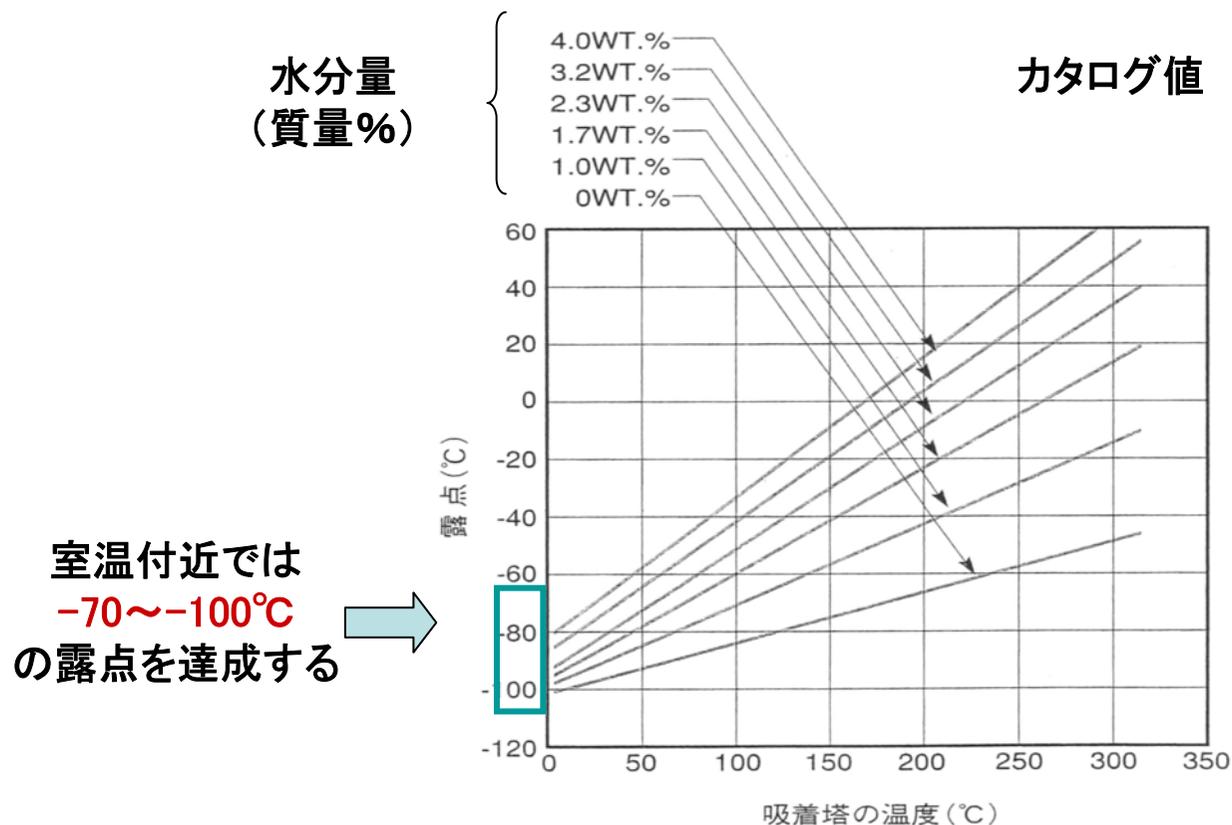
# 真空排気系トリチウム除去装置

4. 3. 3





# 脱湿 → モレキュラーシーブ



第14図 再生後の残存水分量と露点の関係

## 1) 非常に低い水分濃度まで乾燥します。

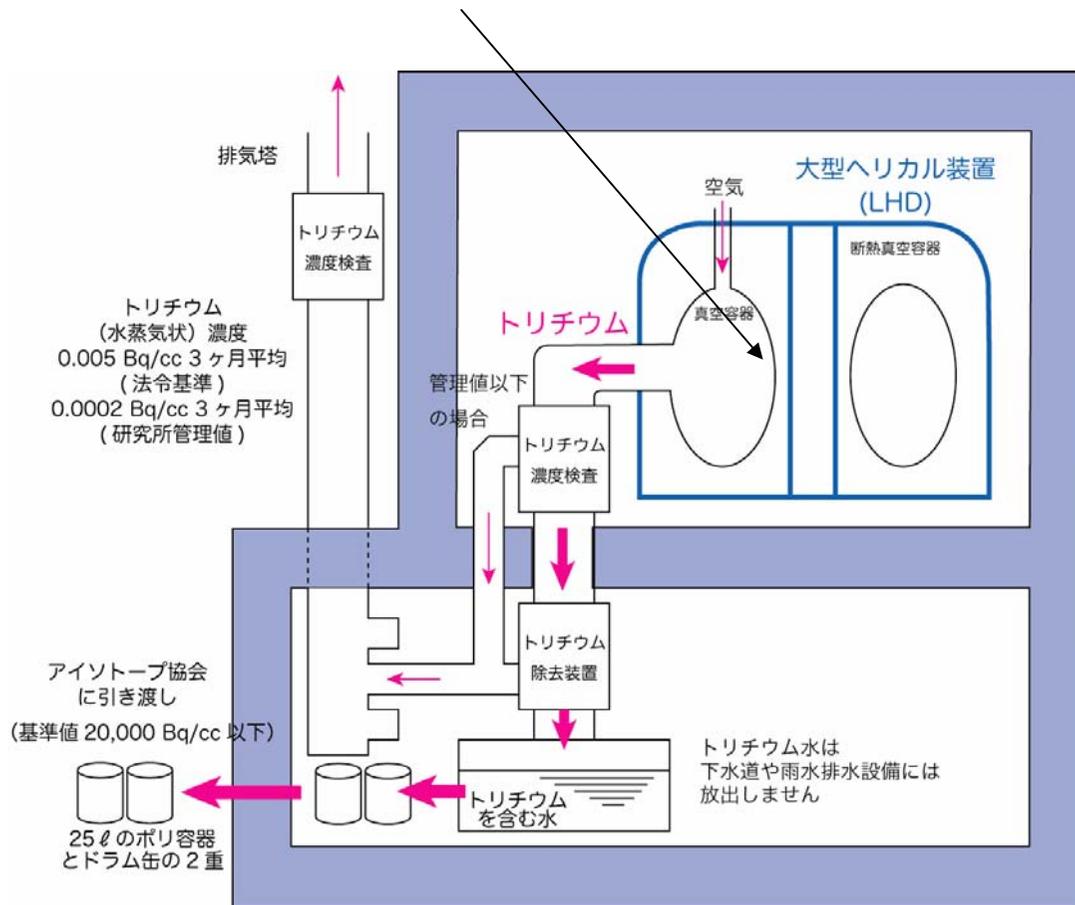
高い乾燥度を必要とする気体、液体に対して、モレキュラーシーブは理想的な吸着剤で、広い範囲の操作条件のもとで、水分濃度を0.1ppm以下まで下げることが可能です。



# 点検整備期間の真空容器内換気空気中のトリチウム除去

4. 3. 4

内壁にトリチウムが付着している可能性 → 脱離

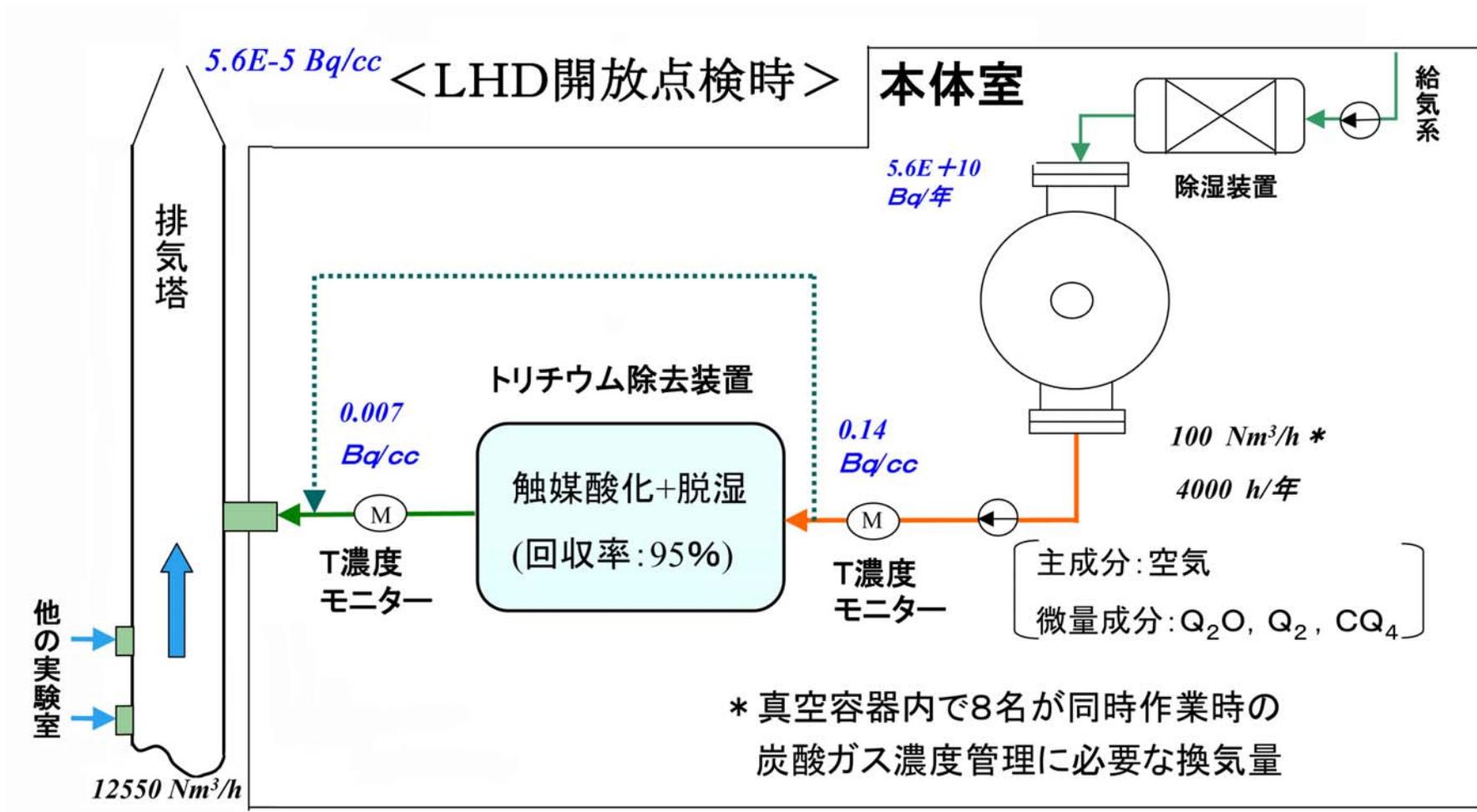


1. 点検整備時、真空容器内に作業者が入って作業を行う際は、酸欠防止のため真空容器内に空気を送って換気
2. 換気されたガスはトリチウム濃度検査を行い、研究所管理値を越える場合は、トリチウム除去装置に導き、水の形で除去・回収
3. トリチウムを除去した残ガスは、トリチウム濃度が研究所管理値以下であることを確認しながら、建屋排気塔から外気に放出
4. トリチウム除去装置により回収されたトリチウムを含む水は容器に密封保管後、日本アイソトープ協会に引き渡して処分



# 真空容器放出トリチウム除去装置

4. 3. 4



大気開放後の排気など、排気量の大きい排気時にも、使用



## 脱湿 → 高分子膜

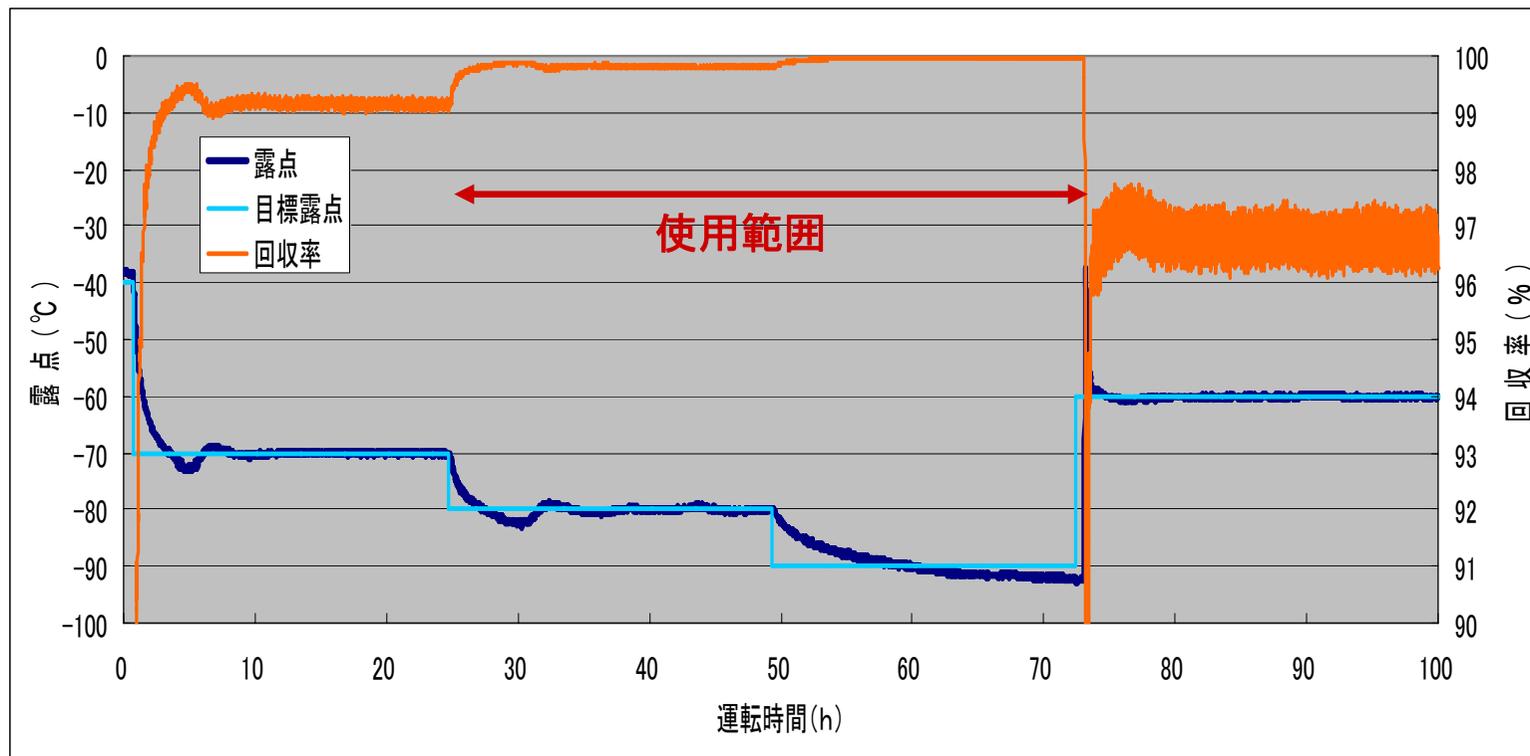
### <実験条件>

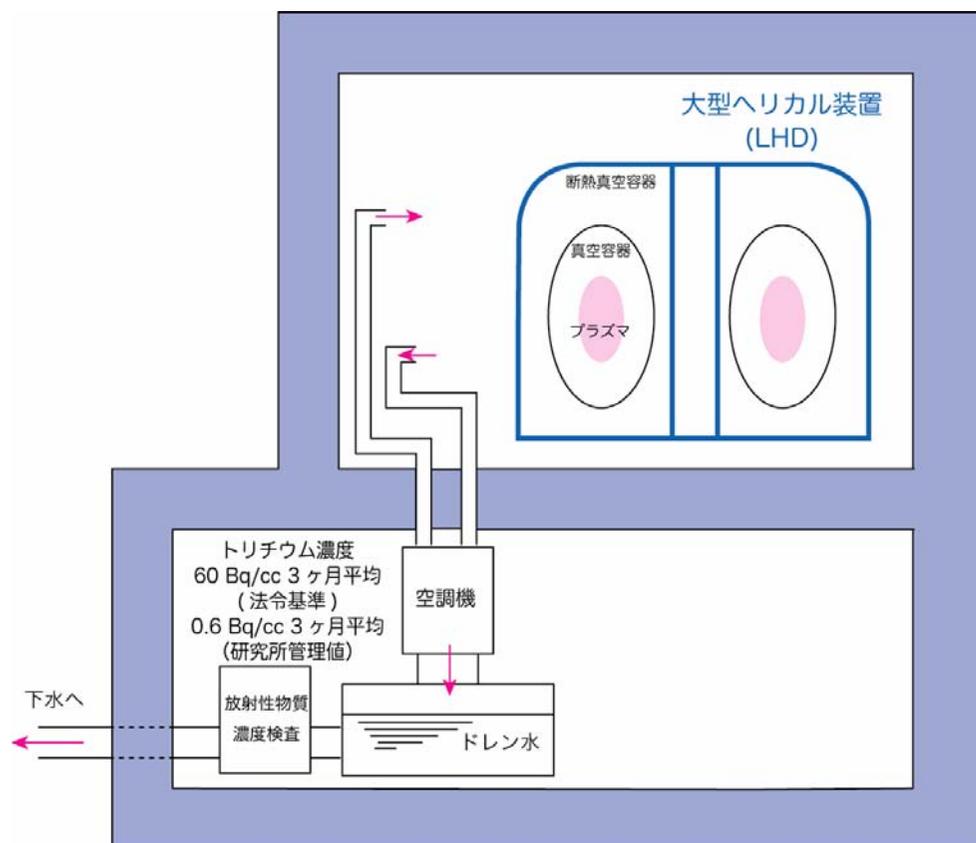
- ・供給ガス: 空気(自然)
- ・供給水蒸気量: 650ppm(露点-25°C相当)

研究所が開発

### <実験結果>

- ・除湿装置出口の水蒸気量: 3ppm(露点-70°C)以下での除湿運転が可能
- ・供給ガス中の水蒸気の回収率: 99.5%以上\*
- \* 実際の運転条件下では供給水蒸気量が1桁以上高く、回収率もさらに向上



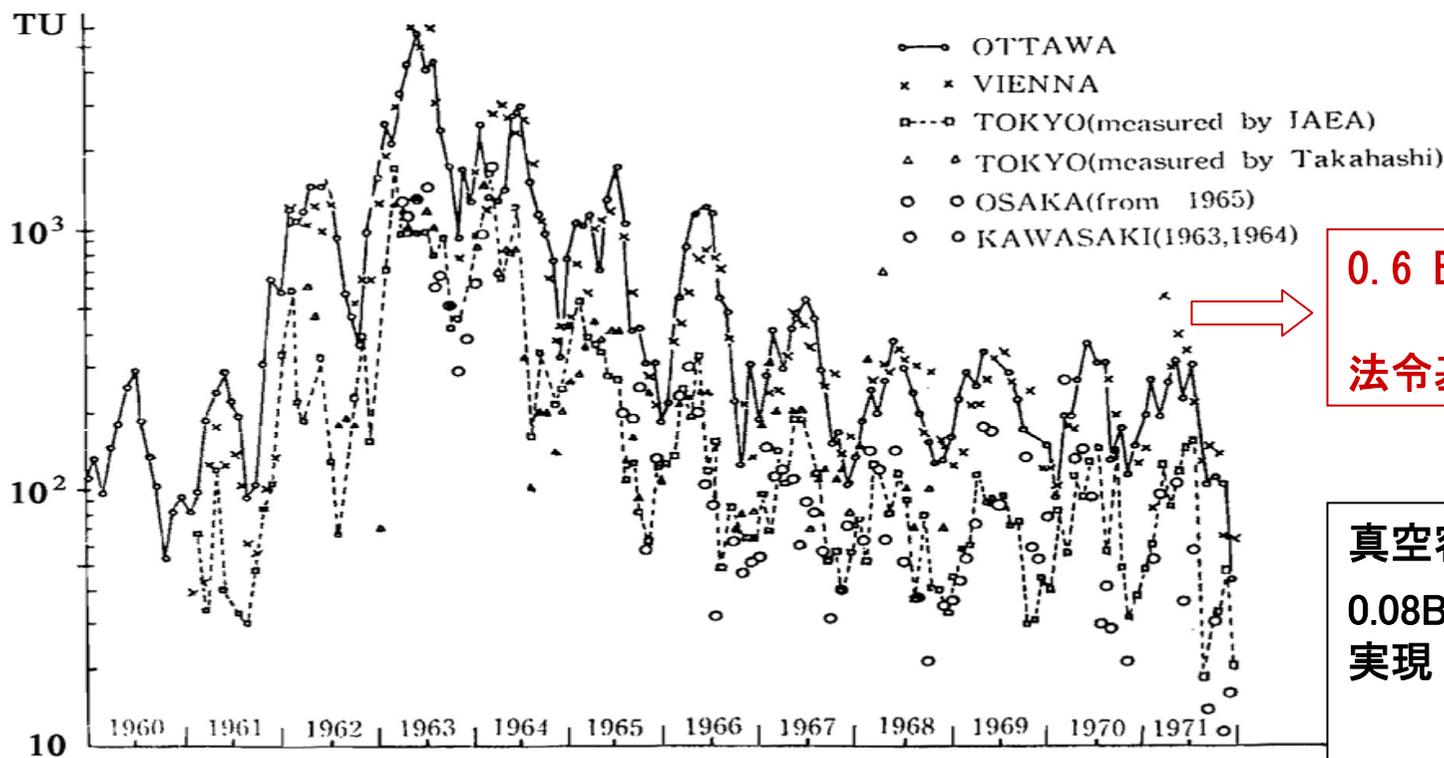


1. 作業中、真空容器は実験室と遮断し、大気圧より少し圧力を下げるが、真空容器内に作業員が出入りする際、また、真空容器に機器を取り付ける際、空気が僅かに入れ替わる可能性
1. 空調機ドレン水についてもトリチウム濃度検査を行い、研究所管理値以下であることを確認した後に下水に放出
2. 研究所管理値を超えた場合は、保管容器に密封保管後、日本アイソトープ協会に引き渡して処分
3. 実験室内での作業後に行う手洗いにより出される排水なども、同じ処理を行う



# 空調機ドレン排水等の研究所管理値の設定

## 降水中トリチウム濃度の推移



0.6 Bq/cc 3ヶ月平均  
||  
法令基準の100分の1

↓  
真空容器内  
0.08Bq/ccの作業環境を  
実現  
↓  
7.8m<sup>3</sup>の入替わりで管理  
(1日でトリチウムを回収と  
仮定)

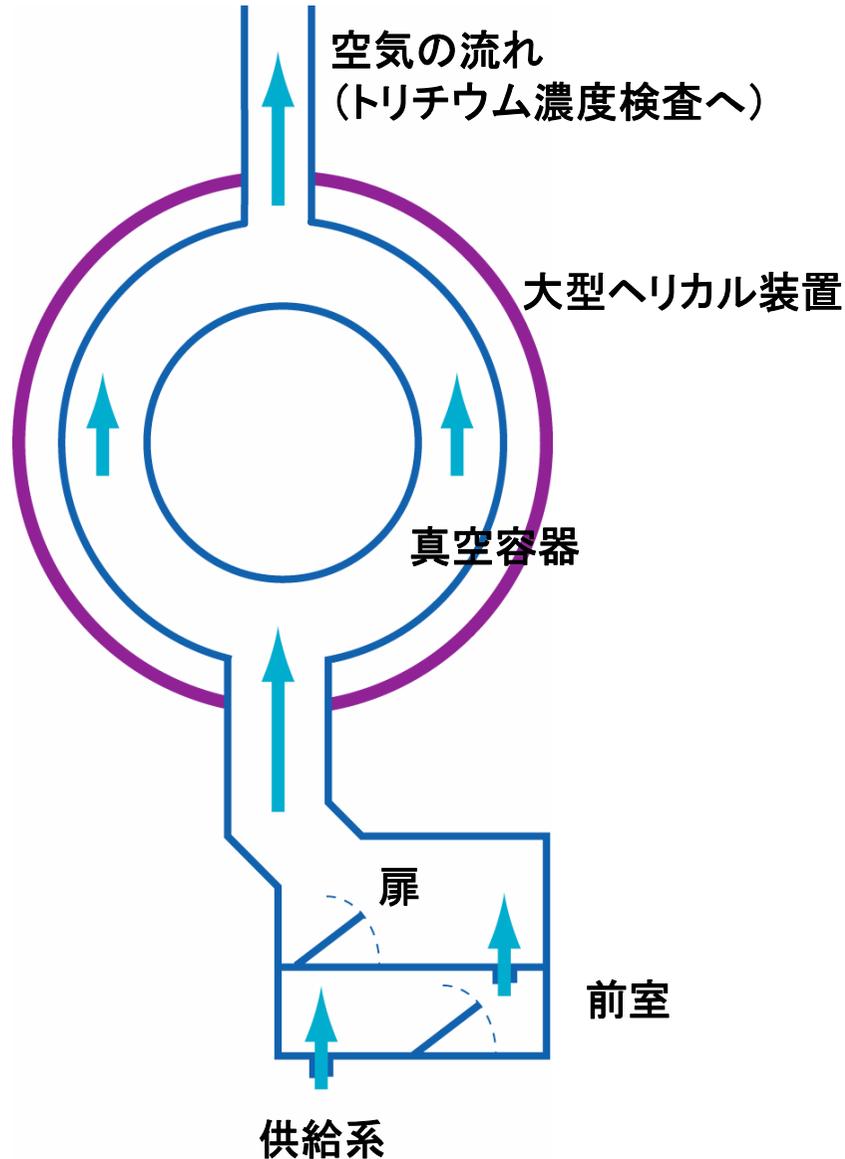
Tritium concentrations of rain waters in Ottawa (Canada), Vienna (Austria), Tokyo, Osaka and Kawasaki (Japan).

[ H. Kawai, H. Morishima et al., 近畿大原研報 15, 9(19

各地域での、降水中トリチウム濃度の推移を示すグラフ  
1 TUは0.000118Bq/cc → 6000TU(最高値)~0.71Bq/cc



## メンテナンス期間中の真空容器廻り作業(1) <sup>4. 3. 8</sup>



真空容器から本体室に放出されるトリチウムを最小限にとどめる必要



### 真空容器出入り用前室の設置

- ・前室、真空容器へ繋がる廊下などは、継ぎ目をバイトンリングなどで密閉
- ・ドアの二重化
- ・専用の作業着、靴、手袋などを着用
- ・トリチウムサーベイメータで管理
- ・簡単な除染設備
- ・真空容器放出トリチウム除去装置を活用し、トリチウムのない状態を保つ



## メンテナンス期間中の真空容器廻り作業(2)

4. 3. 8

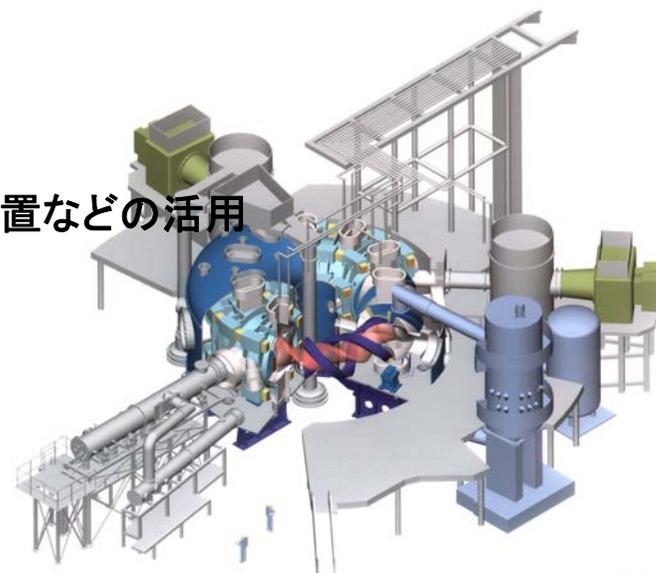
4. 3. 9

### 搬出物の処理

- ・バイトンリング程度の密閉容器に入れる
- ・トリチウムの透過性の悪いフィルムで覆う

### ポート作業

- ・必要に応じて、簡易作業室の設置
- ・専用の作業着、靴、手袋などを着用
- ・取り外した機器などには、上記と同じ処置
- ・作業後、速やかに閉止
- ・必要に応じて、真空容器放出トリチウム除去装置などの活用



NIFS-PE266



## 本体室内(管理区域内)保守作業室

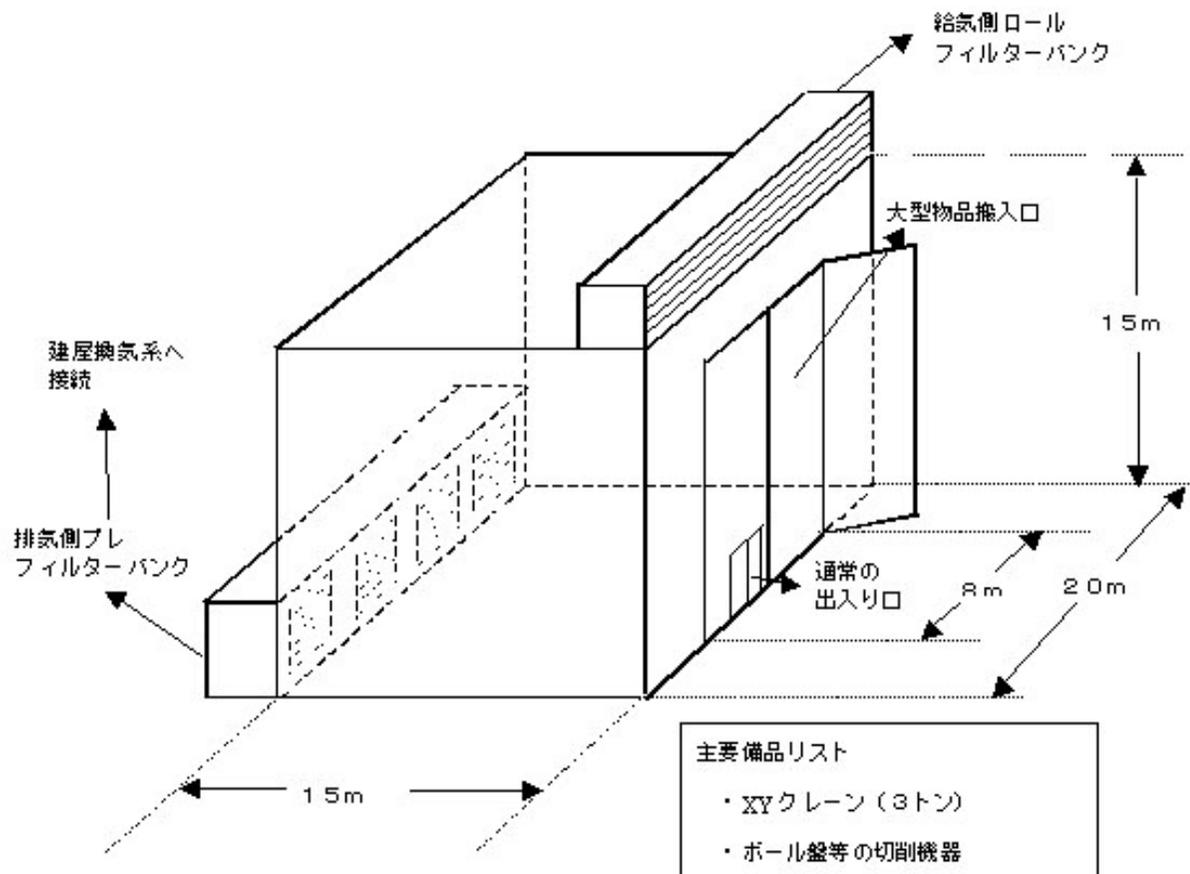
4. 6. 2

本体室でLHDに取り付ける機器の修理、整備を行う

ICRFアンテナ

NBI機器

真空容器保護板 など



トリチウムの本体室放出防止



必要に応じて、

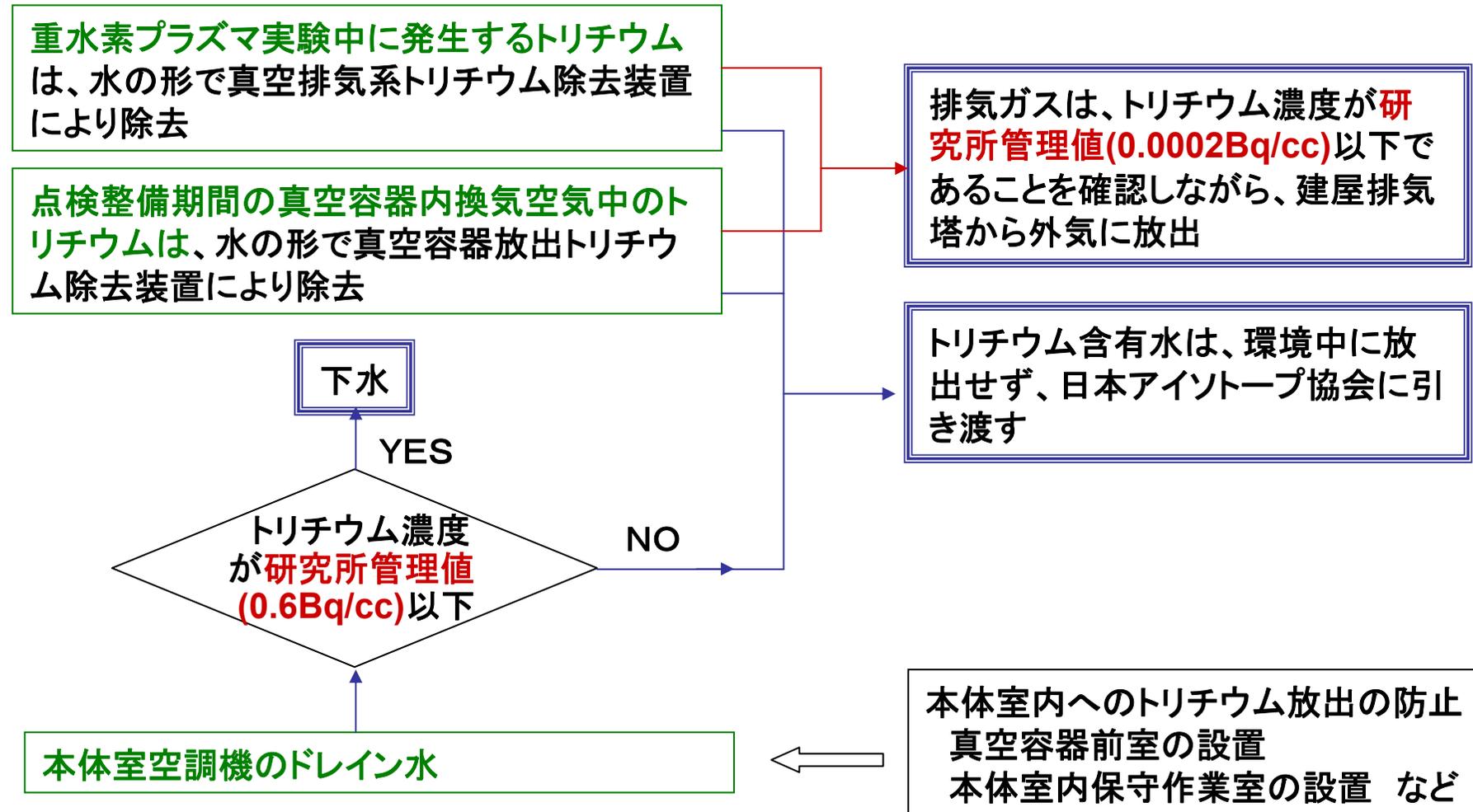
真空容器出入り用前室の  
ような設備を設ける

作業部位近くに真空容器放  
出トリチウム除去装置に繋  
がる吸い込み口を置く

ことなどにより、対処



## トリチウム対策のまとめ





# 1. 3. 3

## トリチウムに関連した研究所管理値 のまとめ

### 研究所管理値

放射性同位元素の種類		空气中濃度限度 <sup>1)</sup> (Bq/cc)	排気中又は空气中の濃度限度 (Bq/cc)	排液中又は排水中濃度限度 (Bq/cc)
核種	化学形等			
<sup>3</sup> H	トリチウムガス	$1 \times 10^4$	$7 \times 10^1$	
<sup>3</sup> H	トリチウム蒸気、水	$8 \times 10^{-1}$	$2 \times 10^{-4}$	$6 \times 10^{-1}$

### 法定濃度限度

放射性同位元素の種類		空气中濃度限度 <sup>1)</sup> (Bq/cc)	排気中又は空气中の濃度限度 (Bq/cc)	排液中又は排水中濃度限度 (Bq/cc)
核種	化学形等			
<sup>3</sup> H	トリチウムガス	$1 \times 10^4$	$7 \times 10^1$	
<sup>3</sup> H	トリチウム蒸気、水	$8 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^1$

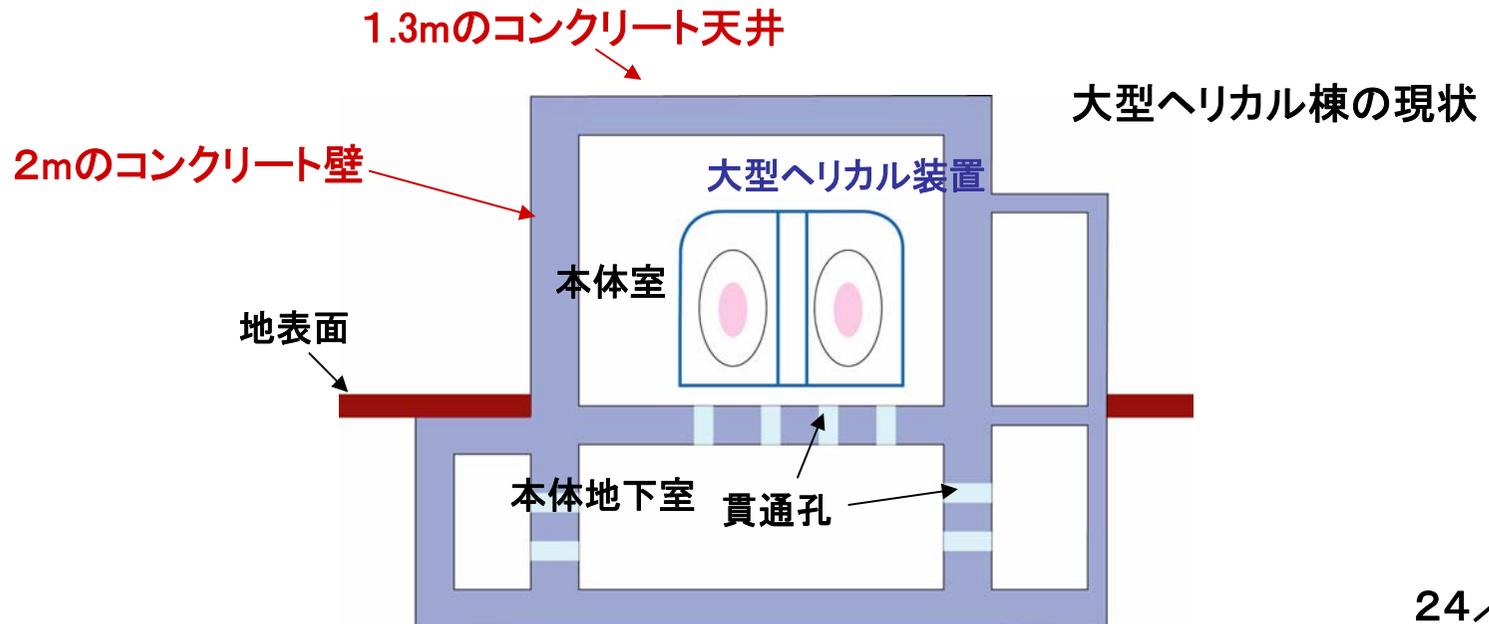
1) 放射線業務従事者の作業環境



# 中性子対策 概要

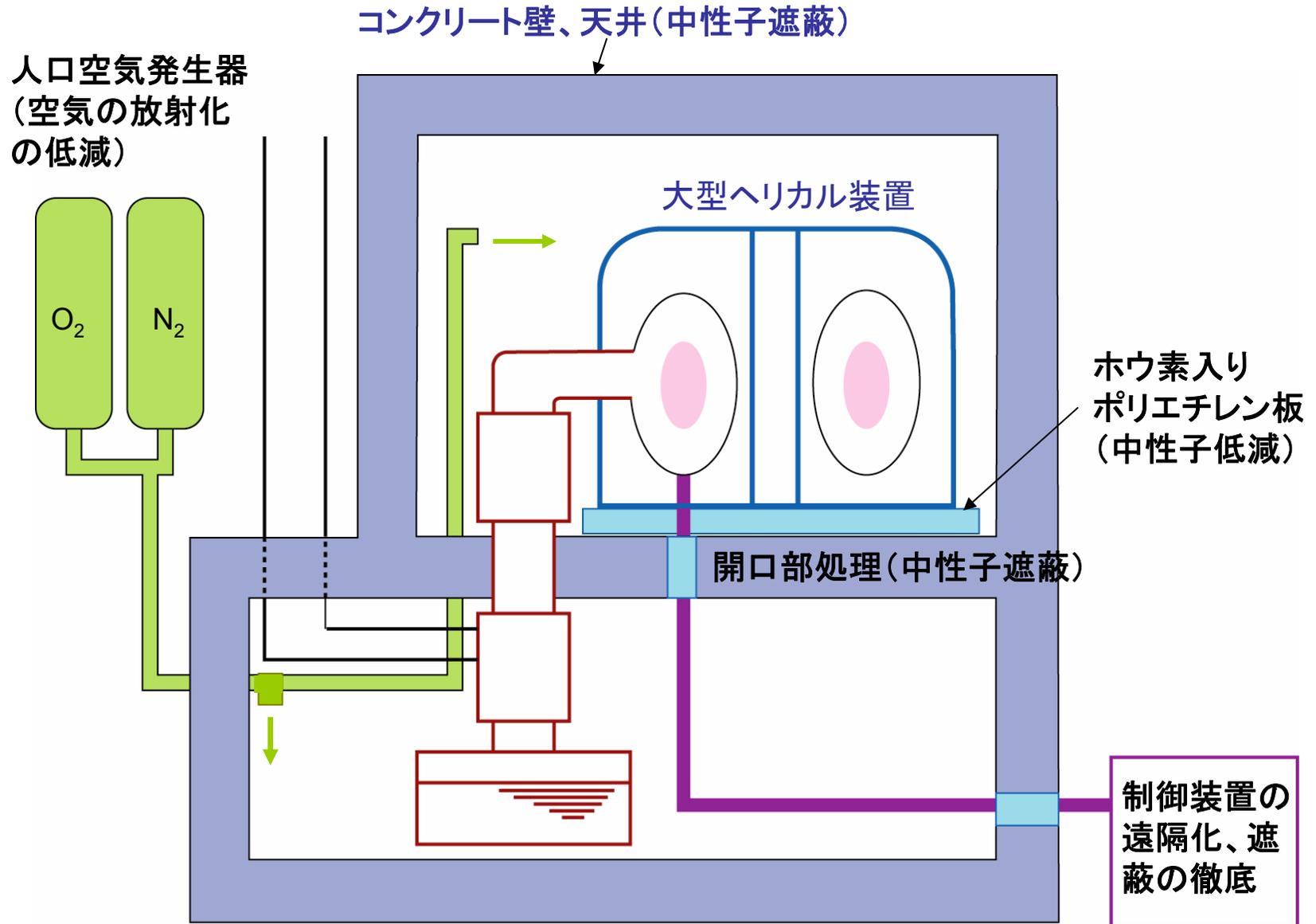
4. 2

中性子の遮蔽	2mのコンクリート壁 1. 3mのコンクリート天井 コンクリート壁の貫通口処理
中性子の低減	ホウ素入りポリエチレン板の床面敷設(5 cm) → { 装置、コンクリートの放射化の低減 空気の放射化の低減
空気の放射化の低減 放射化への対応	人口空気発生器の設置 重水素実験の管理
その他	制御装置の遠隔化、機器の遮蔽の徹底



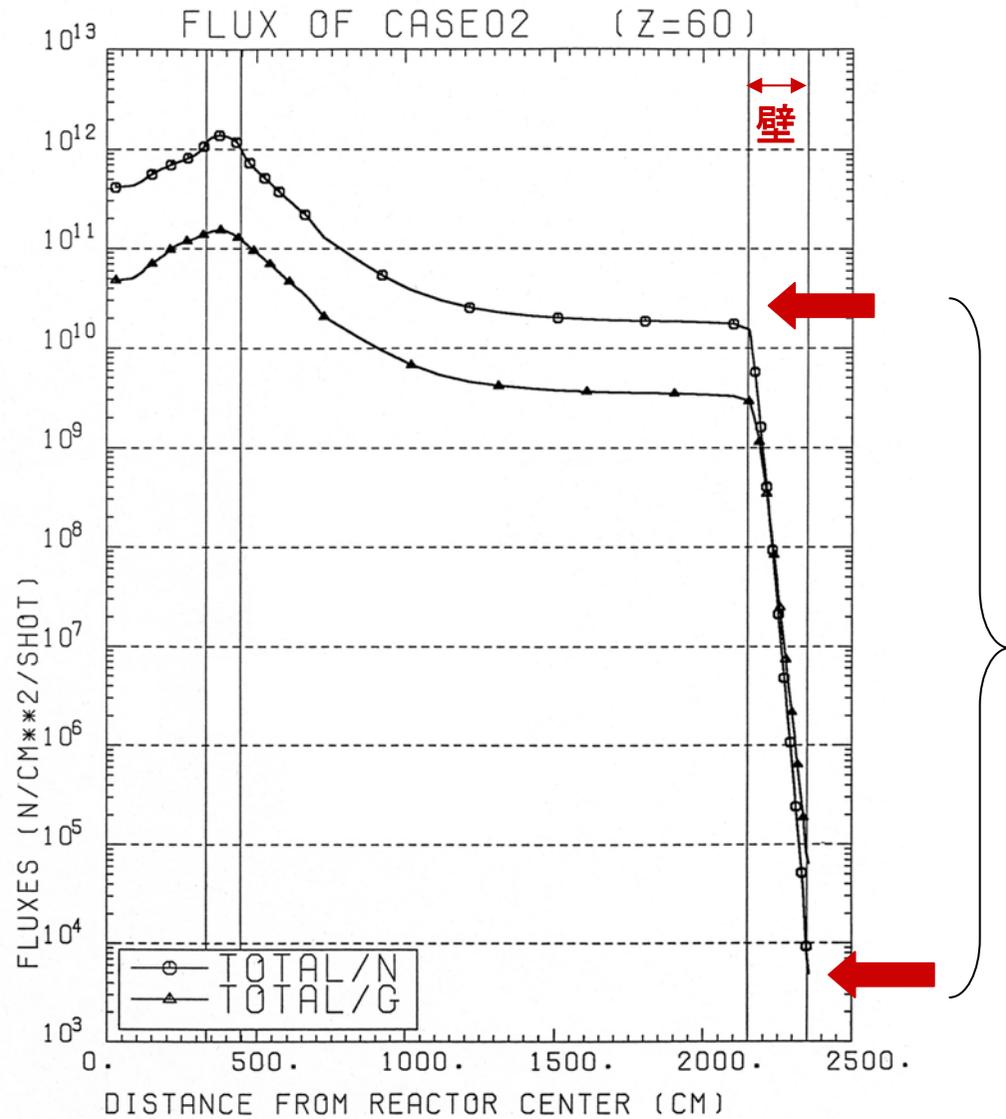


# 中性子対策の概念図





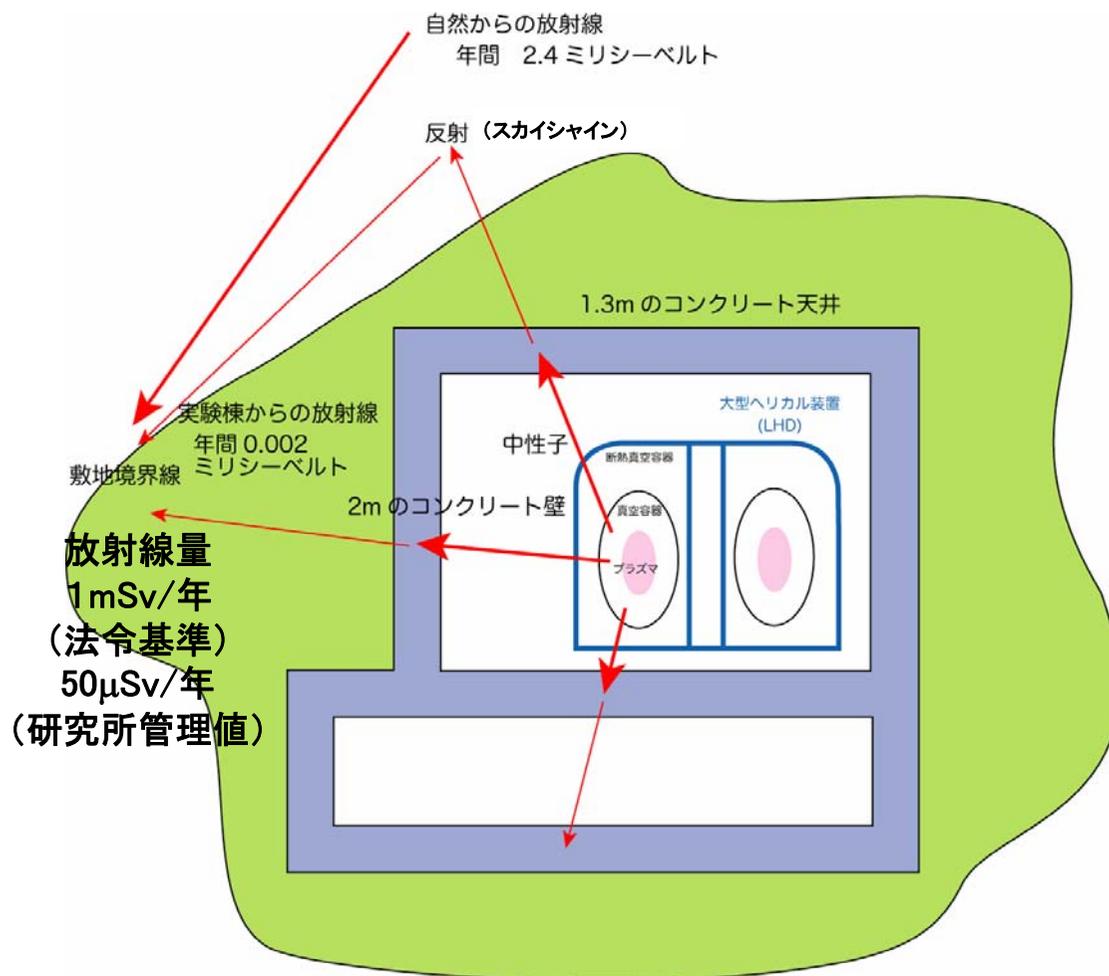
# コンクリート壁の遮蔽能力



2mのコンクリート壁は  
中性子を約7桁減衰  
させる能力がある

中性子およびガンマ線の半径方向分布(プラズマ水平断面)

## コンクリート壁、天井で防止



1. 大型ヘリカル実験棟のコンクリート壁の厚さは横壁2m、天井1.3mで、地上部分の全ての貫通口には遮蔽扉
2. 天井を抜けた僅かな中性子が、外気中で反射して地上に戻ってくるスカイシャイン現象の影響も詳しく評価
3. 敷地境界での本体室からの放射線量の見積もりは、年間2μSv(ガンマ線含む)程度で**研究所管理値**以下
4. 年間2 μSvは自然放射線の量(年間2.4mSv程度)の100分の1以下



## 本体棟内の中性子遮蔽 貫通口処理

4. 2. 2

### 放射線の線源

2.45 MeV中性子  $2.4 \times 10^{16}$  n/sec

14 MeV中性子  $4.3 \times 10^{14}$  n/sec

放射線の強度解析: 二次元の輸送解析コードDOT3. 5

放射線の管理区域を限定するため、**床および壁の貫通口を考慮したより現実的な解析を適用**



本体室、本体室地下、計測機器室(1)以外の部屋を非管理区域とするには、低温トレンチの砂埋め、加熱・計測などで使用している**各貫通口の空隙を減らす処理、空調ダクトからの漏洩放射線の遮蔽**などが必要

計測機器室(1)は、貫通口内がレーザーの光路となっており、迷路構造とすることが困難なため、一部管理区域

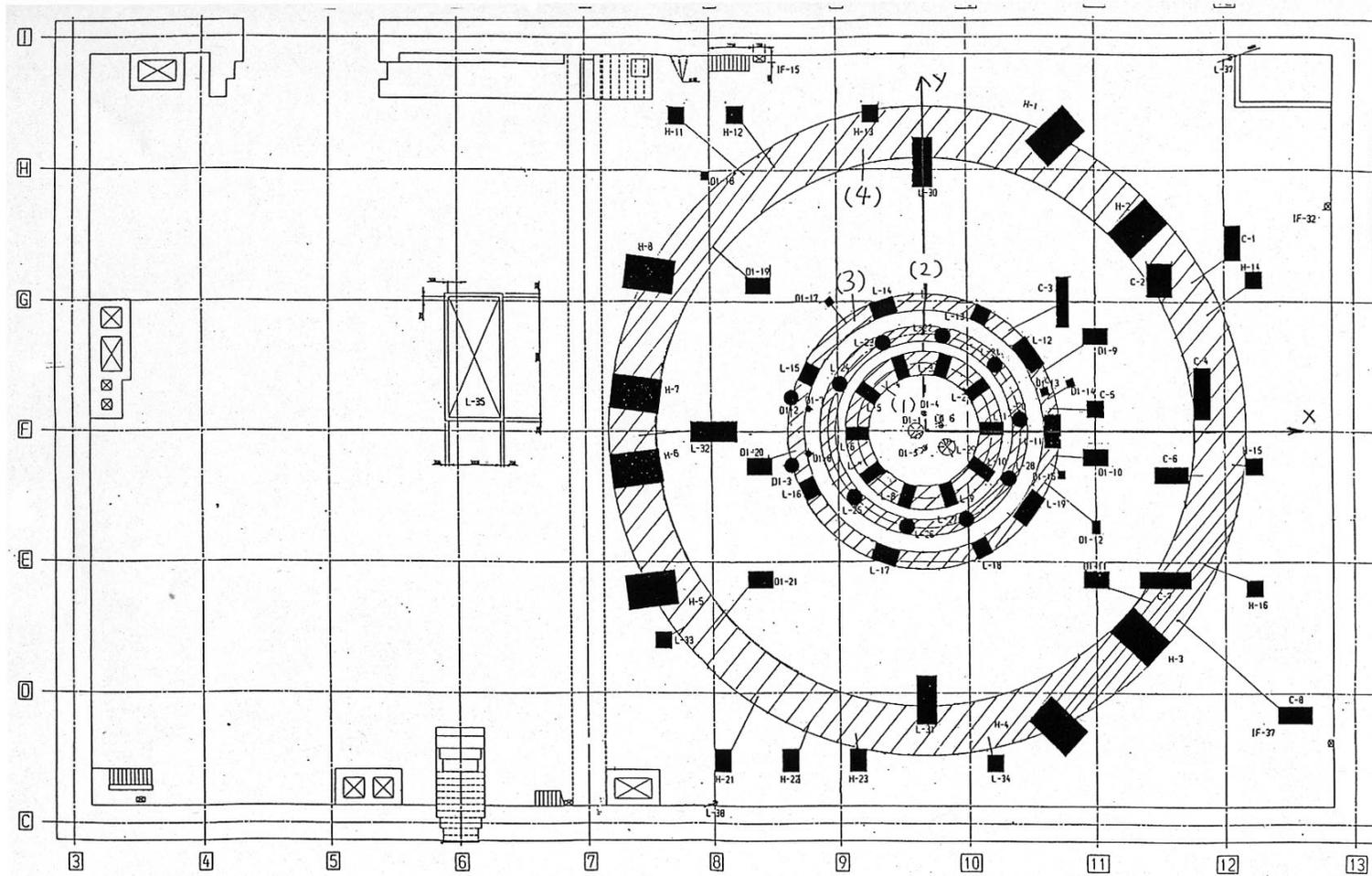
### [管理基準]

管理区域は 1mSv/週

非管理区域は1.3mSv/3ヶ月

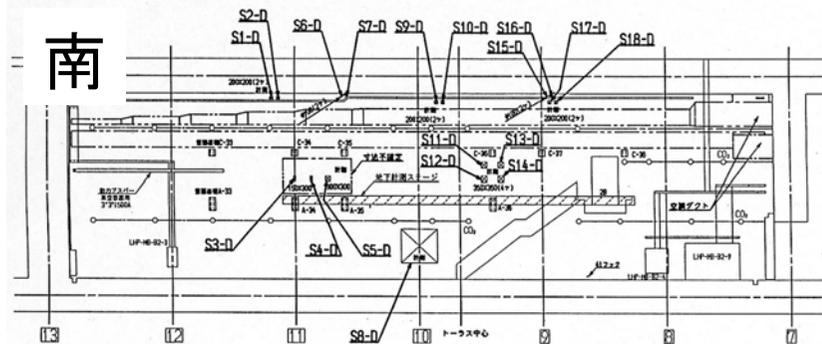
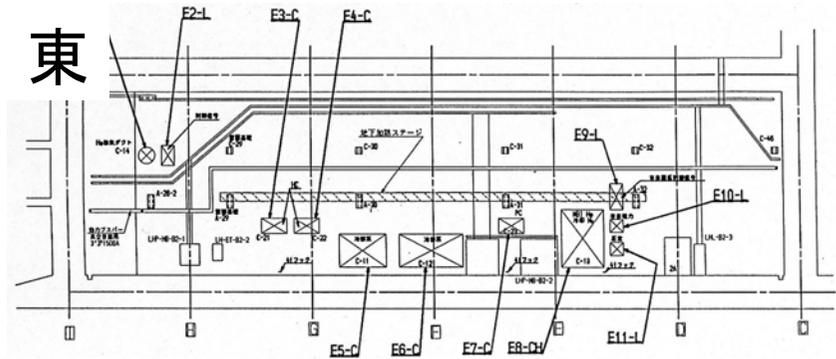
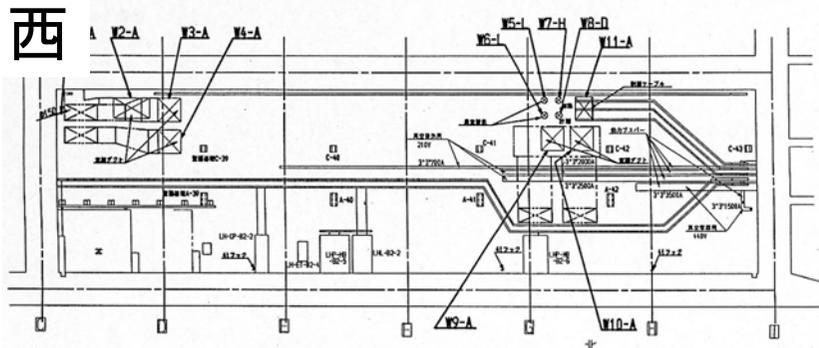
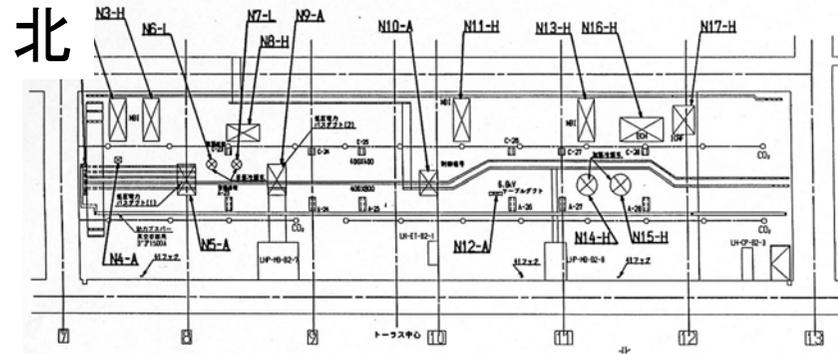


# 本体室床開口部





# 本体地下室壁貫通口





## 放射化への対策 放射化の解析条件

3. 6

実験計画に沿ってLHD本体と床(コンクリート)を考察

### 検討条件

最大中性子発生量(2.45MeV)  $5.7 \times 10^{16}$ /ショット(3sec)

他の実験条件 30ショット/日、週4日、  
3週重水素3週水素の繰り返し

検討位置 LHD本体直下のベルジャー底  
(線量として最も厳しい位置)

超伝導線材は、クリアランスレベル以下のため、本体はステンレス鋼について検討

放射線の強度解析: 二次元の輸送解析コードDOT3. 5

構造物の放射化の検討: 上記で求めた放射線強度の分布を元に、CINACコード

(放射化計算の対象はLHD本体、コンクリート壁と空気)

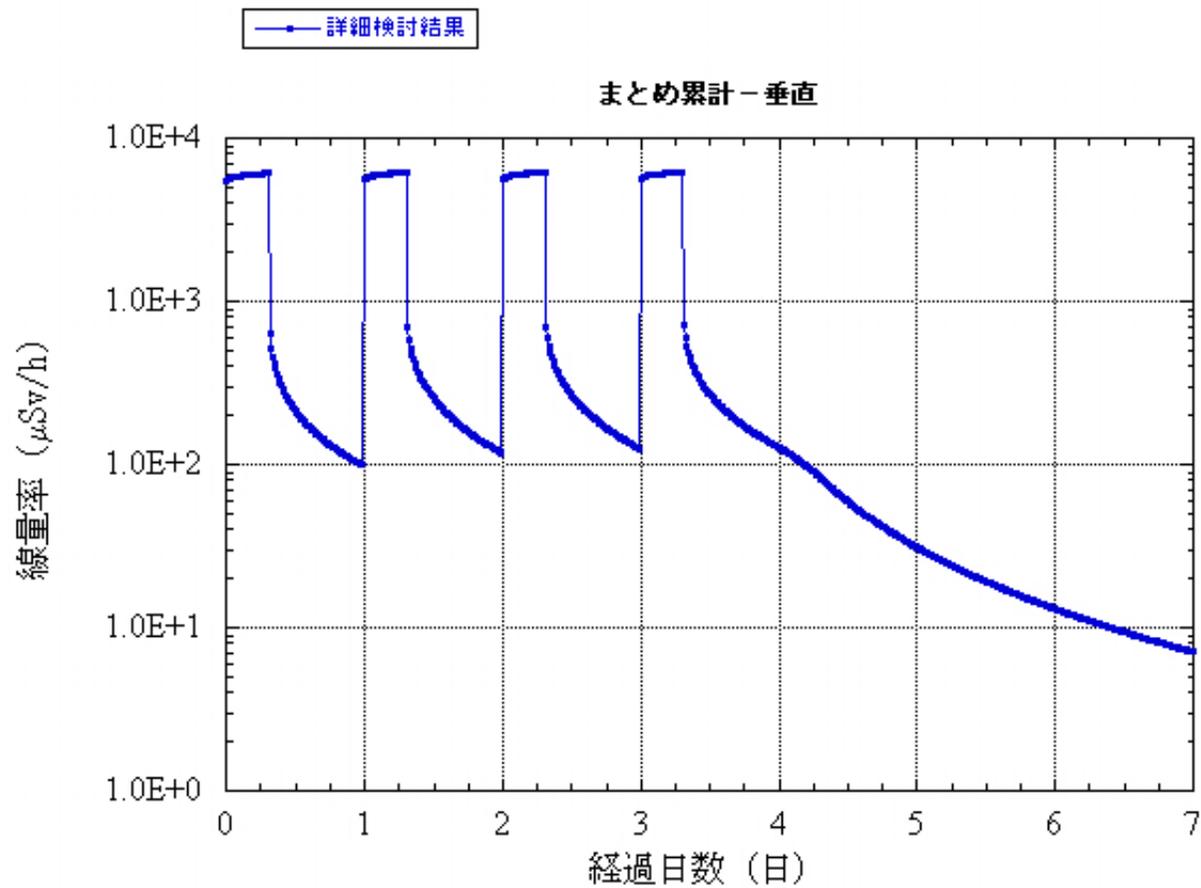
- \* LHDの構造物の影響を正確に求めるために正確な組成を考慮
- \* 放射化に関しては、空気・LHD本体の構造物・床、天井、壁のコンクリートに対して検討

注) クリアランスレベル: 当該物質に起因する線量が「自然界の放射線レベルと比較して十分小さく、また、人の健康に対するリスクが無視できること」を基準として検討されている「放射性物質として扱う必要がない物」を区別するレベル。これを下回るものについては、一般廃棄物として扱うことができるようになる。



## 線量率の週間変化

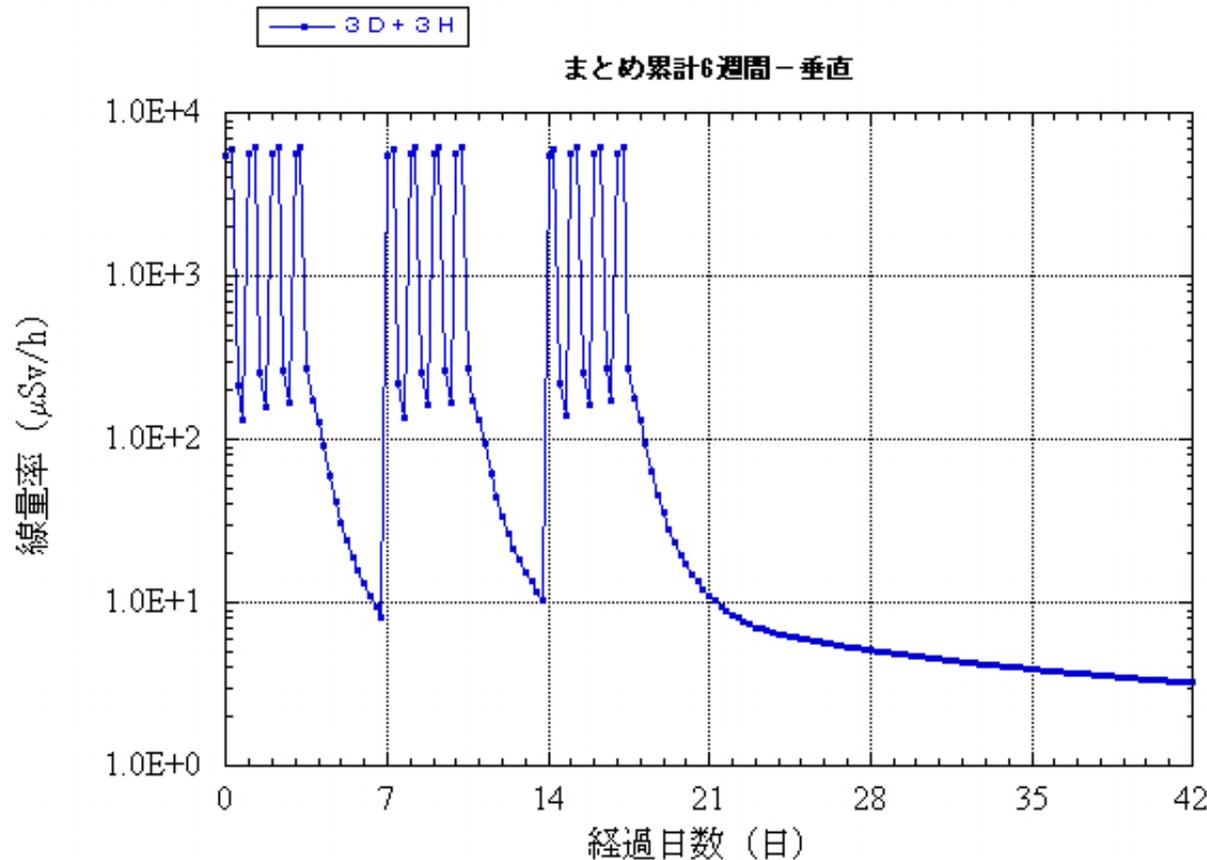
LHD本体直下のベルジャー底(線量として最も厳しい位置)  
LHD本体とコンクリートの両方の放射化を考慮した量





## 実験6週間における線量率の変化

3週間連続重水素実験、その後、3週間連続軽水素実験を行った場合  
LHD本体直下のベルジャー底(線量として最も厳しい位置)  
LHD本体とコンクリートの両方の放射化を考慮した量



最後のショット終了後、  
約15分(ほぼ、減磁所  
要時間)で線量率は  
1mSv/hを下回る



緊急時には線量と時間  
を管理しながら本体室内  
に入ることが可能

DD最終年まで毎週40  
時間5ヶ月間の点検整  
備が可能(点検整備開  
始は最後のDDショットか  
ら2カ月後)

作業基準  
1mSv/週  
20mSv/年



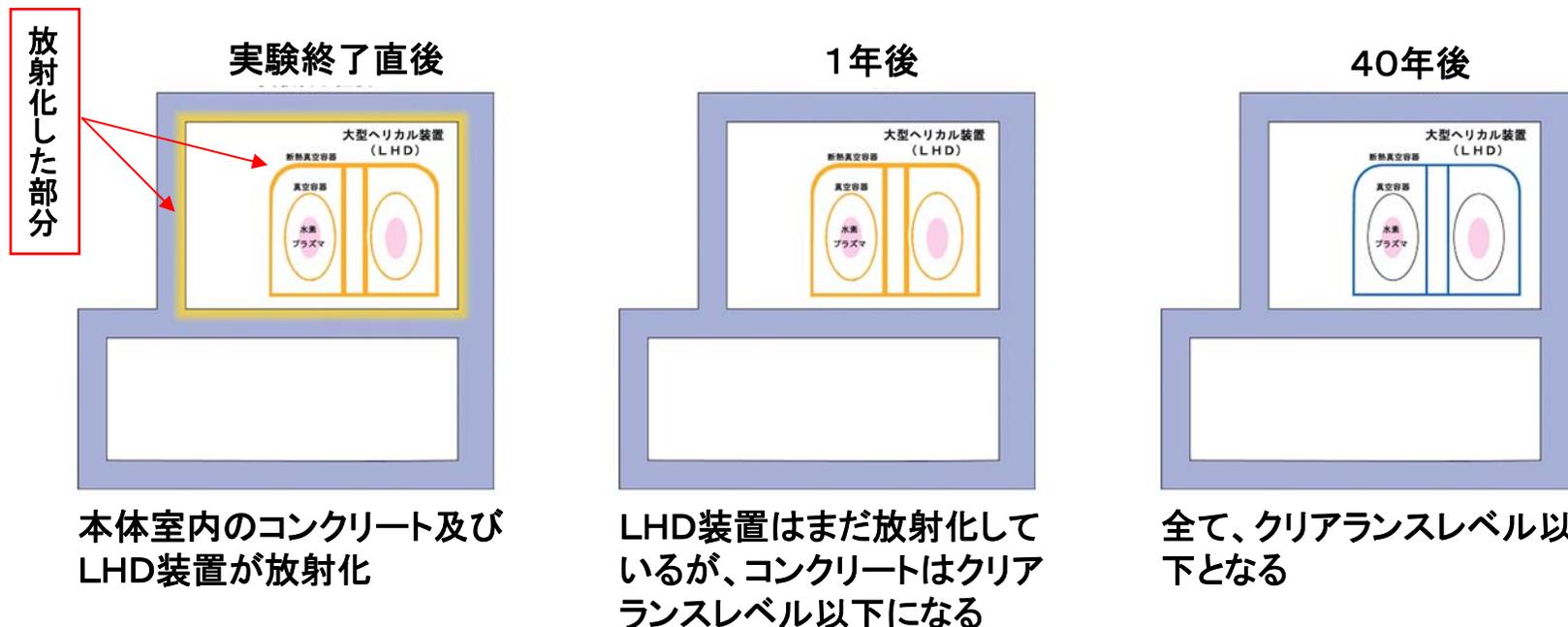
## 放射化したLHDとコンクリート

提案中のLHDの重水素実験後は、水素放電を主として、LHDの有効利用を目的とした科学的  
研究計画(ポストLHD計画)へ転換する予定

本体室内のコンクリート及びLHD装置は、中性子により放射化するが低レベル  
実験終了の一年後に残留している放射能はLHD全体で 55.5GBq程度

コンクリートは約10年で自然のレベル

LHD本体も、約40年で放射線は減衰してクリアランスレベル以下





# 空気の放射化対策 - アルゴン -

## 線源

$$n(2.45\text{MeV}) = 2.4 \times 10^{17} \text{ n/ショット}$$

$$n(14\text{MeV}) = 4.3 \times 10^{15} \text{ n/ショット}$$

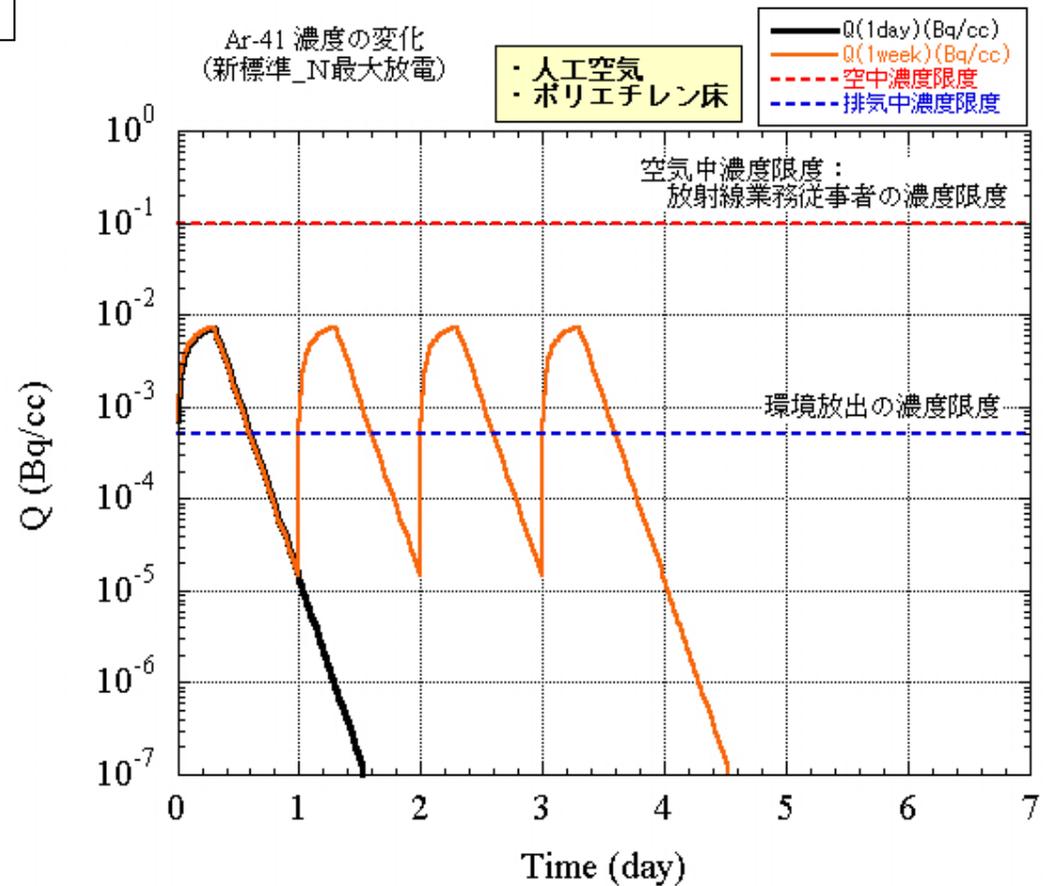


空気中に含まれる<sup>14</sup>N, <sup>16</sup>O, <sup>40</sup>Arから放射性物質<sup>13</sup>N, <sup>16</sup>N, <sup>41</sup>Arの生成反応;

<sup>14</sup> N	(n, 2n)	<sup>13</sup> N (9.96 min.)
<sup>16</sup> O	(n, p)	<sup>16</sup> N (7.13 sec.)
<sup>40</sup> Ar	(n, γ)	<sup>41</sup> Ar (1.83 hr.)

<sup>41</sup>Arに対してはショットを重ねることによる蓄積効果を考慮する必要

人工空気、ホウ素入りポリエチレン板で放射化を低減

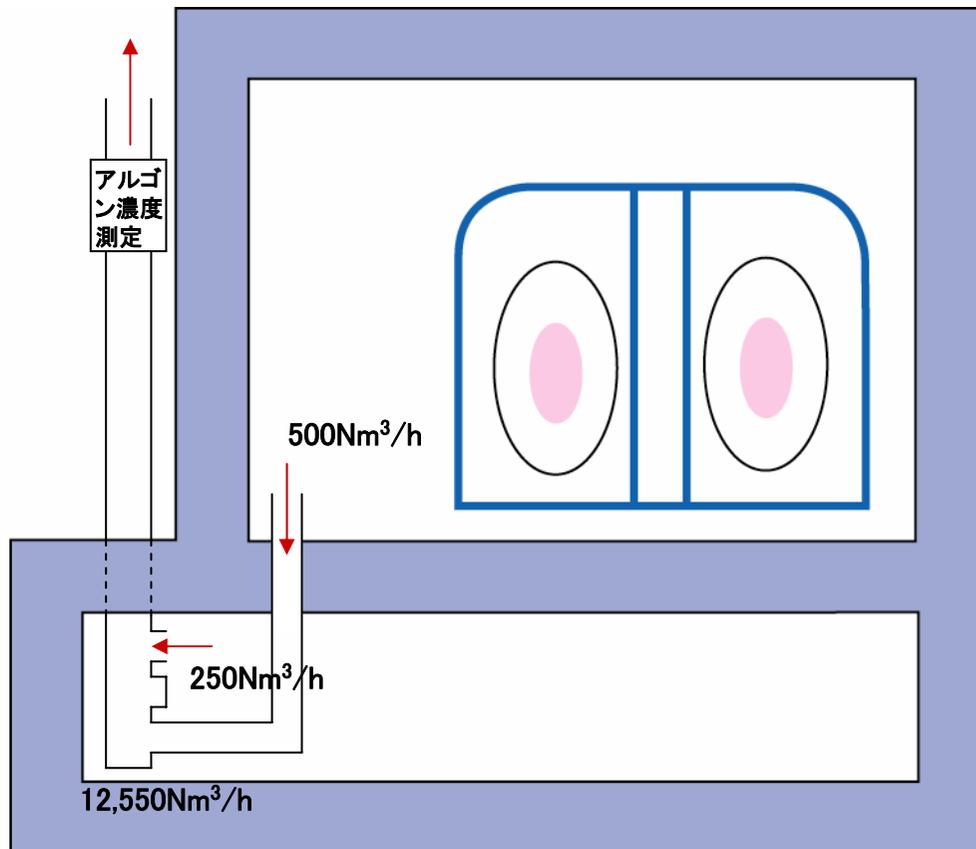




## 放射化されたアルゴンの管理

アルゴン濃度  
0.0005Bq/cc 3ヶ月平均  
(法令基準)

> 0.0001Bq/cc 3ヶ月平均



本体室、本体地下室の放射化  
アルゴンを管理



両室を負圧にする



両室から空気を少し引く



放射化物が少し放出される  
(放射化物の管理された放出)



負圧のため、管理された空気以外  
は放出されない



## 中性子対策のまとめ

- 中性子は、2mのコンクリート壁と1.3mのコンクリート天井により遮蔽され、敷地境界で自然放射線量の1000分の1以下となる
- 本体棟の貫通口を処理することにより、中性子は遮蔽され、管理区域を最小限にすることが可能となる
- ホウ素入りポリエチレン板をLHD床面へ敷設することにより、中性子を低減することが可能で、放射化が低減される
  - ↓
  - 災害・事故時には、本体室に減磁後直ちに1時間程度入室可能で、対応できる
  - ↓
  - 本体室の屋根が取れるようなことがあっても、環境中に放出される放射化したアルゴンガスの濃度は、敷地境界で法定濃度限界を超えることはない
  - ↑
- 人工空気を本体室に送ることにより、放射化したアルゴンの濃度を10分の1に抑えることが可能となる
- 40年後に、全てクリアランスレベル以下となる

### 研究所管理値

#### 1) 放射線業務従事者の作業環境

放射性同位元素の種類		空气中濃度限度 <sup>1)</sup> (Bq/cc) 3ヶ月平均	排気中又は空气中の濃度限度 (Bq/cc) 3ヶ月平均
核種	化学形等		
<sup>41</sup> Ar	ガス	$1 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^{-4}$

### 法定濃度限度

<sup>41</sup> Ar	ガス	$1 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^{-4}$
------------------	----	--------------------	--------------------

敷地境界放射線量 ( $\mu$ Sv/年)
<b>50</b>

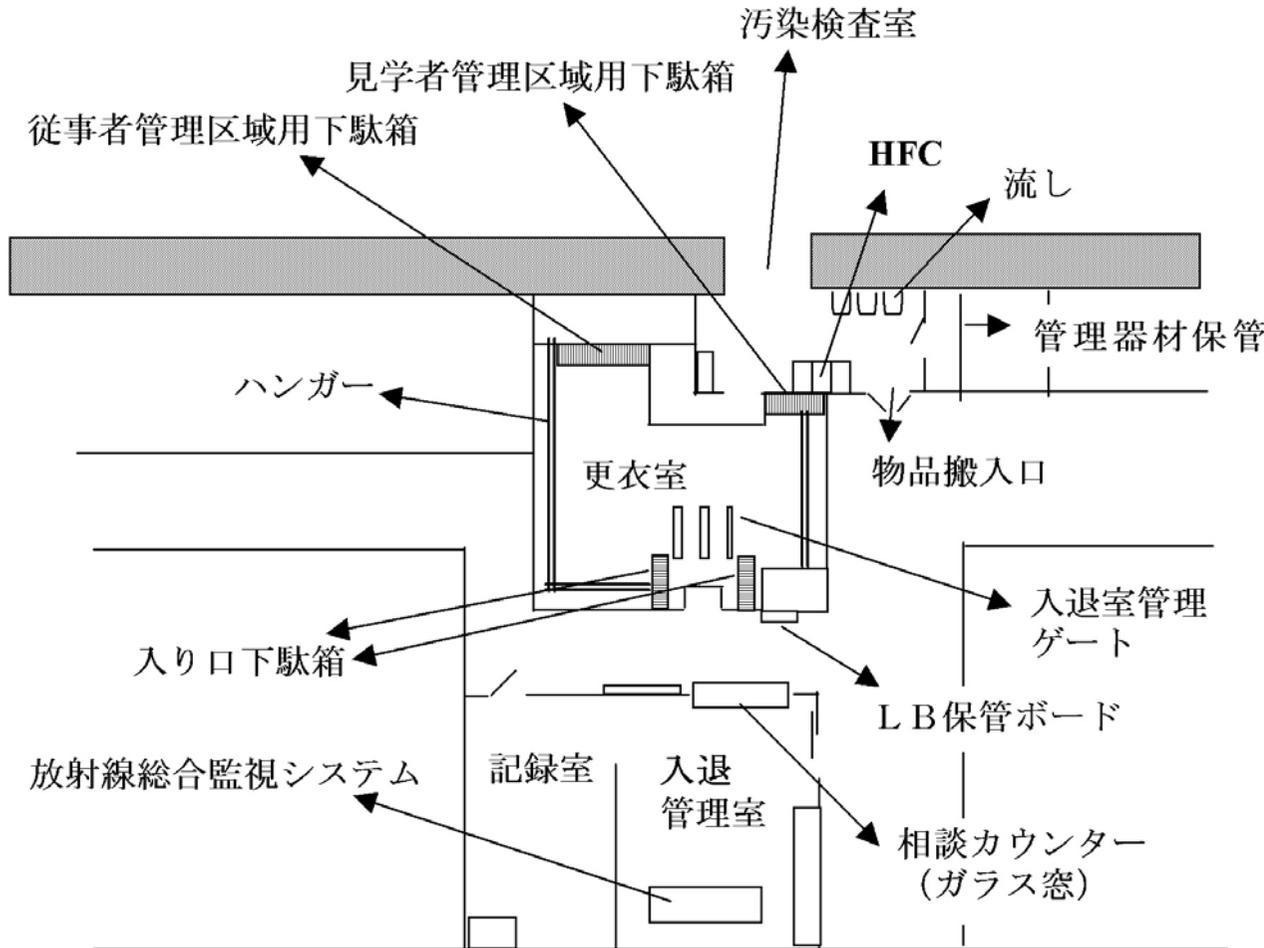
1,000
-------



# 本体室への入退管理対策

## 入退管理室の整備

4. 5



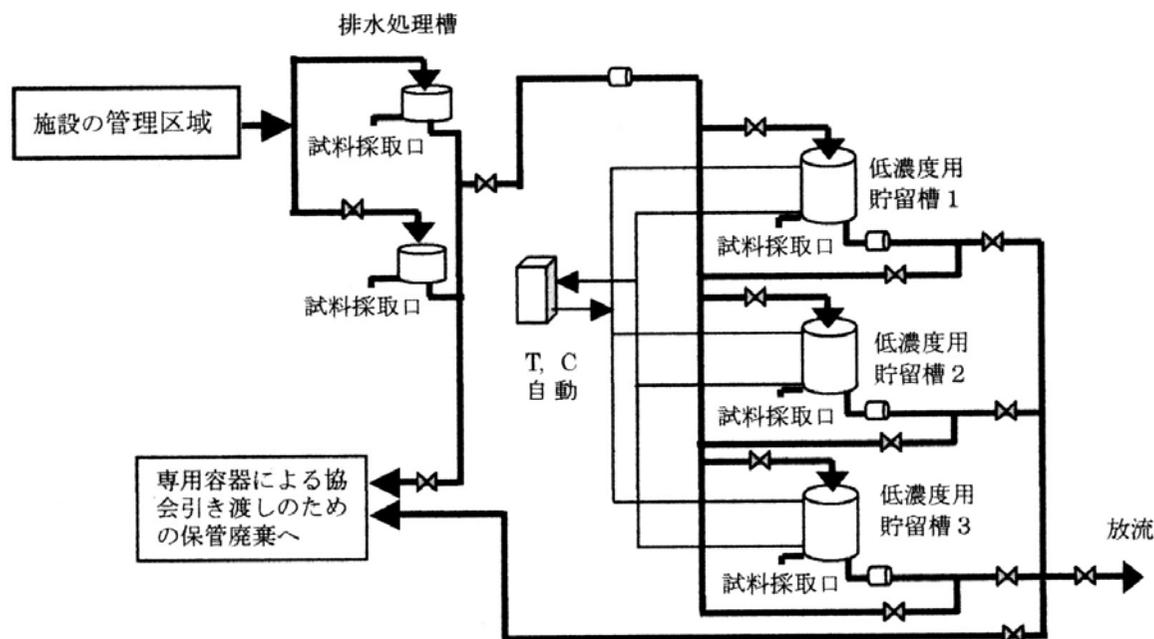
本体室の入り口は1箇所にして入退出の管理を行う

- 入退管理室
- ルクセルバッジ(LB)保管場所
- 更衣室、下駄箱、バリア
- 汚染検査設備
- 除染設備
- 記録作業室 などの整備

**廃液:** 日本アイソトープ協会へ引き取りを依頼するトリチウムトリチウム含有水など  
**排水:** 低濃度用貯留槽に貯留し放出処分を前提とするもの

### 管理区域内で発生する主な排水

- (1) RI容器や試料等の洗浄により発生したもの
- (2) 管理区域内清掃排水
- (3) 管理区域出入り口での手洗等洗浄排水
- (4) 空調機ドレン水



貯留槽に一時的に保管し、一定量ごとに放射能濃度を測定(モニター)

○研究所管理値(0.6Bq/cc)を超えていない場合、放出処分

○研究所管理値を超える排水は、専用の保管容器に収納し、RI保管施設で保管して、日本アイソトープ協会へ処理を依頼

排水貯留槽とモニターの構成例



## 発生する他の廃棄物

### 発生する廃棄物の種類

#### 1) 可燃性固体廃棄物(可燃物)

作業者等が着用する作業手袋、マスク等、およびペーパータオル、布ウェス、養生資材など

#### 2) 不燃性固体廃棄物(不燃物)

定期点検などに伴い交換されるダイバータイル、不燃性の養生資材、不燃性、難燃性の線材、真空部品など

#### 3) フィルター

排気設備に設けるプレフィルター、ヘパフィルターなど

#### 4) イオン交換樹脂

本体室内に設置されている一次冷却設備、排水設備などのイオン交換樹脂など

#### 5) 液体廃棄物

真空ポンプ廃油、部品洗浄液など

これらの廃棄物は、アイトープ協会指定の容器に収めて廃棄物保管室に一時保管され、アイトープ協会に処理を依頼する。

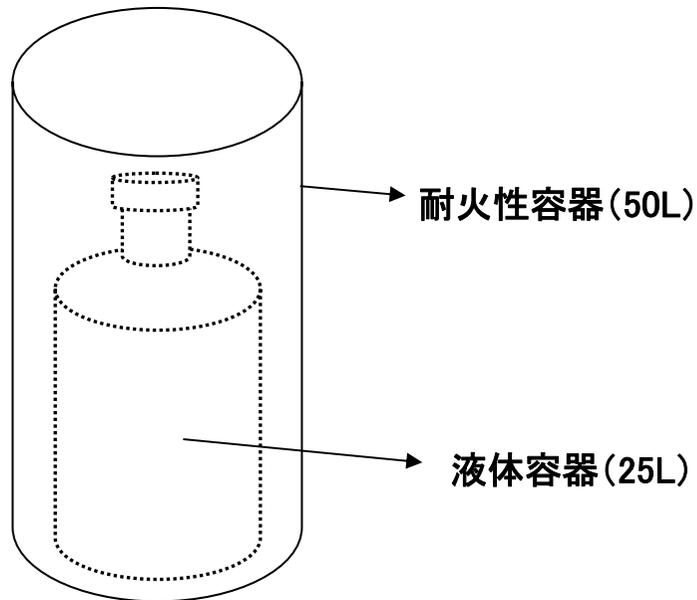


アイトープ協会指定の保管容器に収めて廃棄物保管室に一時保管され、アイトープ協会に処理を依頼



## 保管容器

4. 3. 6



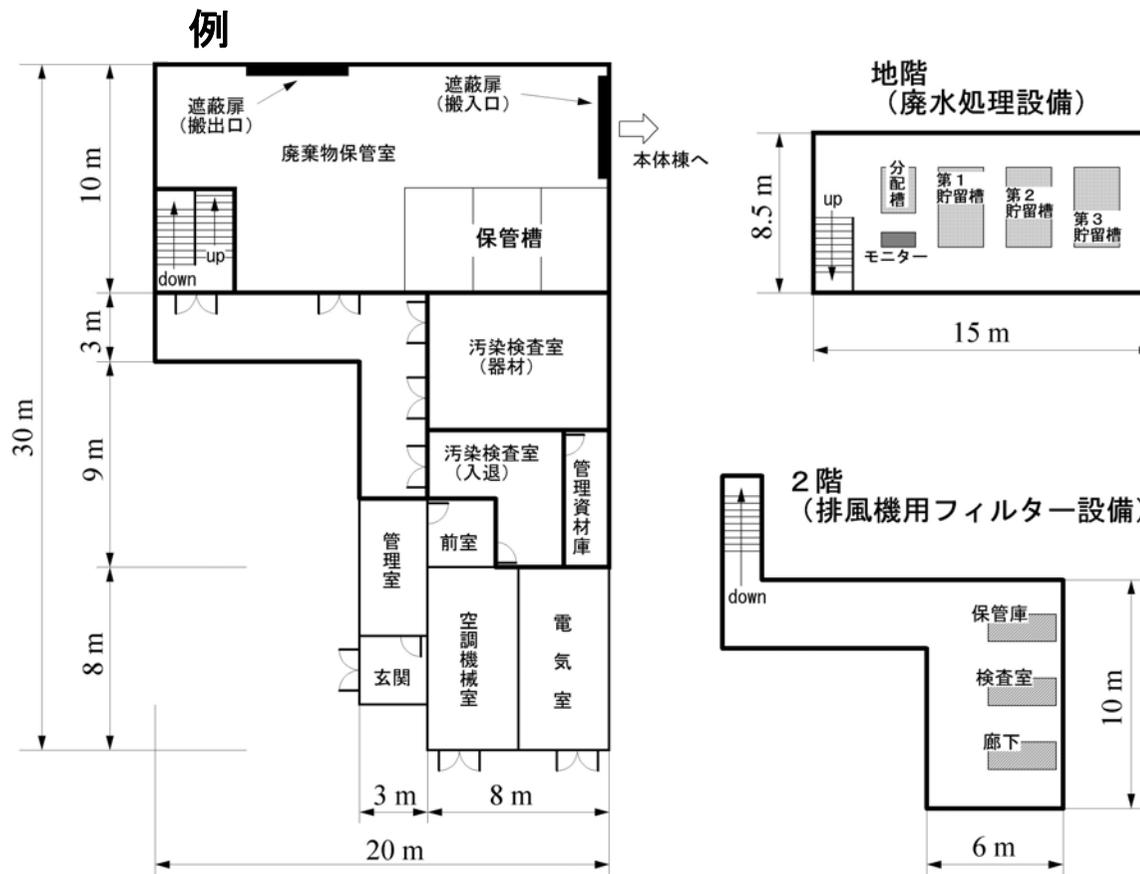
トリチウム含有水や真空ポンプの廃油等(廃液)を保管するために使用する保管容器は、図のように耐火性外容器と液体収納用容器(液体容器、ポリエチレン製)からなる

廃液は液体容器に貯留され、耐火性容器の中に保管

日本アイソトープ協会から貸与

廃液は、発生してから日本アイソトープ協会へ引き渡されるまでの間、この容器に保管された状態で、RI保管施設において保管(保管廃棄)

本体室から撤去した、放射化した機器、廃液(トリチウム含有水)などを保管



## 必要な設備

- 管理室
- 汚染検査室
- 廃棄物保管室
- 廃水処理設備
- 換気設備
- 管理資材庫など

**廃液保管のため、ステンレス製の保管槽 (3m×4.5m×25cm)を3槽設け、災害時にも、トリチウム含有水を漏出させない**

**1槽あたり、80個の保管容器を保管予定**



# トリチウム搬出計画案

4. 3. 7

	発生月	トリチウム無機廃液発生量 (25リットル容器本数)			搬出計画 (持ち込みによる廃棄依頼)
		(2kBq/ml)	(20kBq/ml)	合計	
実験中	1月		20本	20本	240本
	2月		20本	20本	
メンテナンス期間	3月	100本		100本	4月末頃にアイソトープ協会が指定する保管場所まで発送。
	4月	100本		100本	
	5月	100本		100本	200本 6月末頃にアイソトープ協会が指定する保管場所まで発送。
	6月	100本		100本	
	7月	100本		100本	200本 8月末頃にアイソトープ協会が指定する保管場所まで発送。
	8月	100本		100本	
実験中	9月	100本	20本	120本	180本 12月末頃にアイソトープ協会が指定する保管場所まで発送。
	10月		20本	20本	
	11月		20本	20本	
	12月		20本	20本	
	合計	700本	120本	820本	820本

具体的になった時点で、  
日本アイソトープ協会と  
協議、決定



できる限り、保管量を少  
なくする

**1GBq(0.027Ci)以下は放射性物質としての取り扱いが不必要**



# 安全管理に必要な計測機器

## 放射線管理用計測機器

4. 8

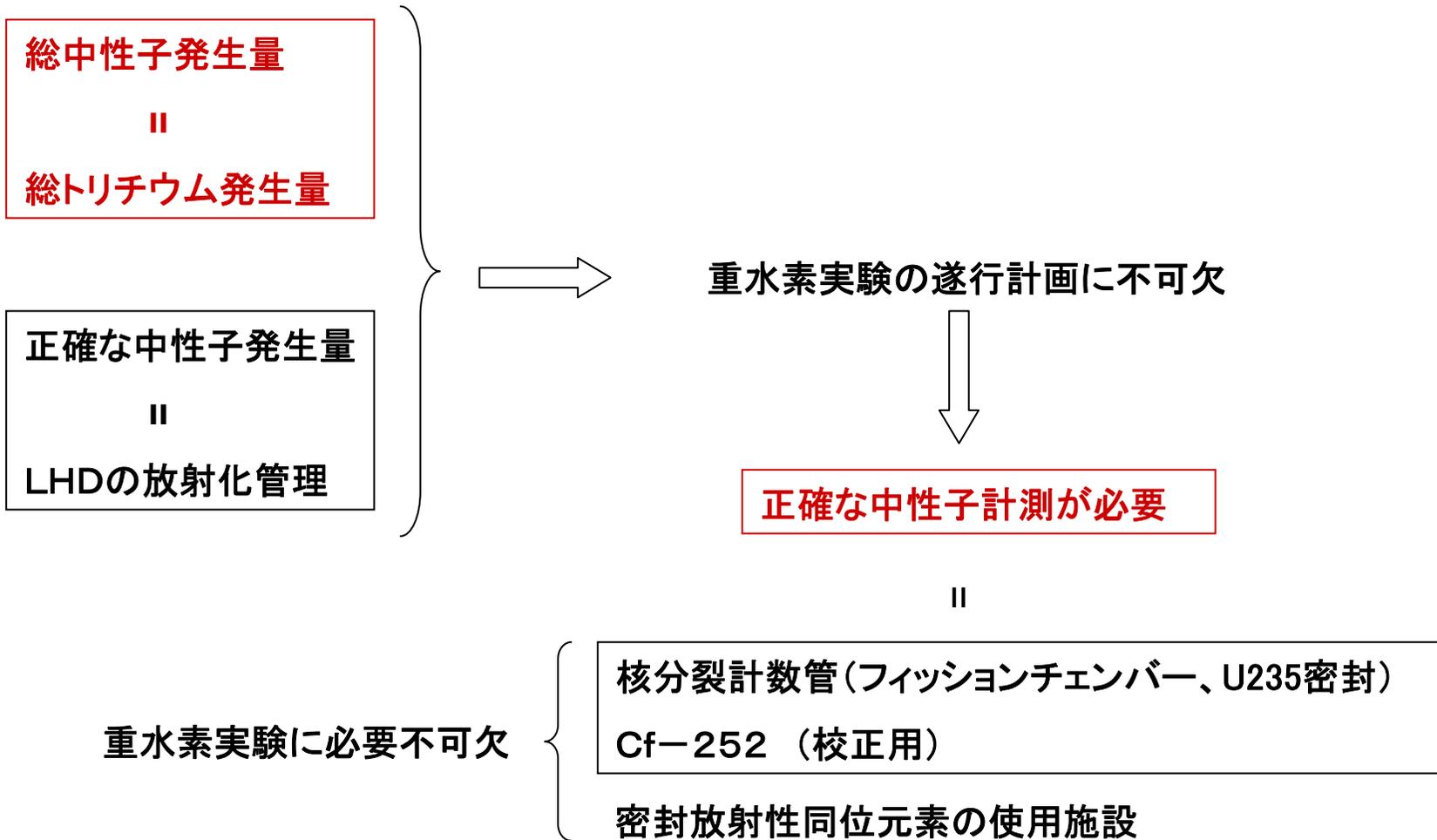
### 各種放射線管理用計測

用途		検出感度		測定器	検出方法	検出速度	検出下限	管理目標値	備考
排気	排気塔	トリチウム	連続	トリチウムガスモニタ	通気式円筒型電離箱14L(アロカ製ベータ線ガスモニタ)	5~60分	1.3mBq/cc	0.2mBq/cc	バックアップ(法令値管理)
					比例計数管1.3L(セイコーEG&G製モニタ)	1~10分	1mBq/cc		バックアップ(法令値管理)
					比例計数管1.3L(センターにて開発中)	10分	>0.1mBq/cc		管理用
	実験室	放射化ガス(Ar-41, N-16, N-13)	連続	ガスモニタ	測定用タンクに空気を引き入れ、NaI検出器で測定。	1時間	2.1mBq/cc	0.1Bq/cc	放射線業務従事者作業環境
					ダスト( $\alpha$ 線、 $\beta$ 線)	連続	ダストモニタ	ろ紙上に集塵し、シンチレータで検出。	5分
排水	排水槽(ドレン水、手洗い水など)	トリチウム、C-14	排水前に遠隔自動測定	$\beta$ 線モニタ	液体シンチレータ	10分	0.3Bq/cc	0.6Bq/cc(トリチウム)	
		その他		$\gamma$ 線モニタ	NaI検出器	10分	10mBq/cc	—	
		トリチウム、C-14	採水後測定	低バックグラウンド液シンチ数装置		測定開始後、約3時間	1mBq/cc	0.6Bq/cc(トリチウム)	精密測定
		その他	採水後測定	各種、放射線測定器	蒸発乾固等の前処理の後、測定			—	精密測定
環境	敷地境界線量	X( $\gamma$ )線	連続	電離箱	(RMSAFE)	ほぼリアルタイム		50 $\mu$ Sv/年	
		中性子線	連続	比例計数管	(RMSAFE)	ほぼリアルタイム		50 $\mu$ Sv/年	



# 中性子の計測

4. 8. 5





## 研究所管理値の遵守

### 研究所管理値の遵守方法の例

---

1. 3. 4

#### [年間管理値]

研究所管理値より低い値を自動停止装置に組み込み、この停止設定値以上では、重水素実験ができないようにする。さらに、停止設定値より低い警告値を実験の制御システムに組み込み、警告値に達した後は、実験責任者が停止設定値に達しないように実験を計画し、停止設定値に達する前に、実験を軽水素やヘリウム等のガスを用いたものに切り替える。

#### [測定監視装置の異常時の対応]

測定監視システムが異常を示したときは、制御システムに組み込まれた自動停止装置により実験は停止する。実験が停止した場合、その原因を究明し、直ちに適切な処置を取る。

例えば、計測監視システムの1個の計測器が故障して実験が停止した場合でも、その計測器の修繕、あるいは交換後、測定監視システム全体が正常に作動することを確認の上、研究総主幹の許可を得て重水素実験を再開する。単なる1個の計測器の故障として、その計測器を外して重水素実験を継続するようなことは行わない。



# 災害の発生と重水素実験 基本姿勢

6

災害・事故などが発生し、安全機器、プラズマ生成装置などが損傷した場合、重水素実験中は、中性子、トリチウムが発生していることから、環境へのリスクが懸念される

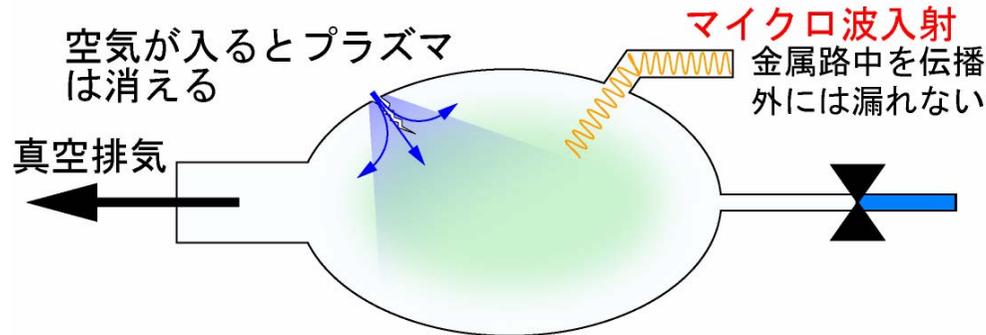
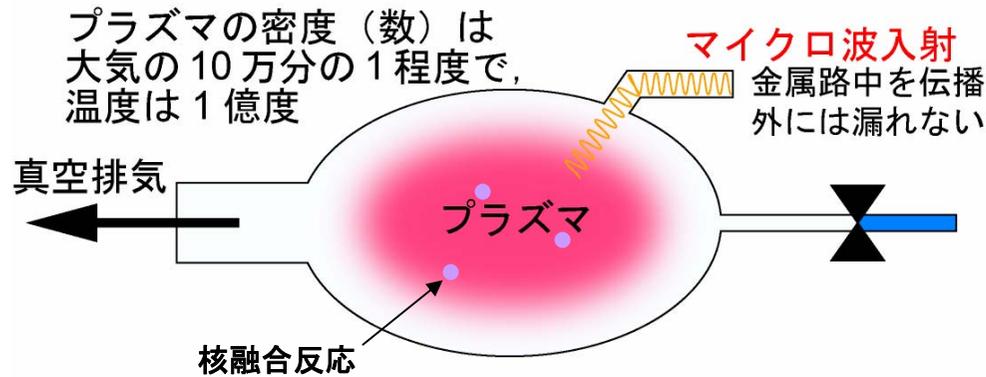


- (1) 重水素実験の計画、機器類などを立案、設計、製作するにあたっては、機器に損傷などが生じた場合でも、環境に影響が及ばないように努める
- (2) 災害及び事故などに対応するため、本研究所防災マニュアルなどのマニュアルに従った訓練を絶え間なく行う



# プラズマの性質

プラズマは、異常が生じると、即座に自然に消える



真空容器に空気が入った場合

停電

真空容器に穴 など



即座にプラズマは消去  
||  
中性子の発生が即座に停止

真空容器に穴(破壊)



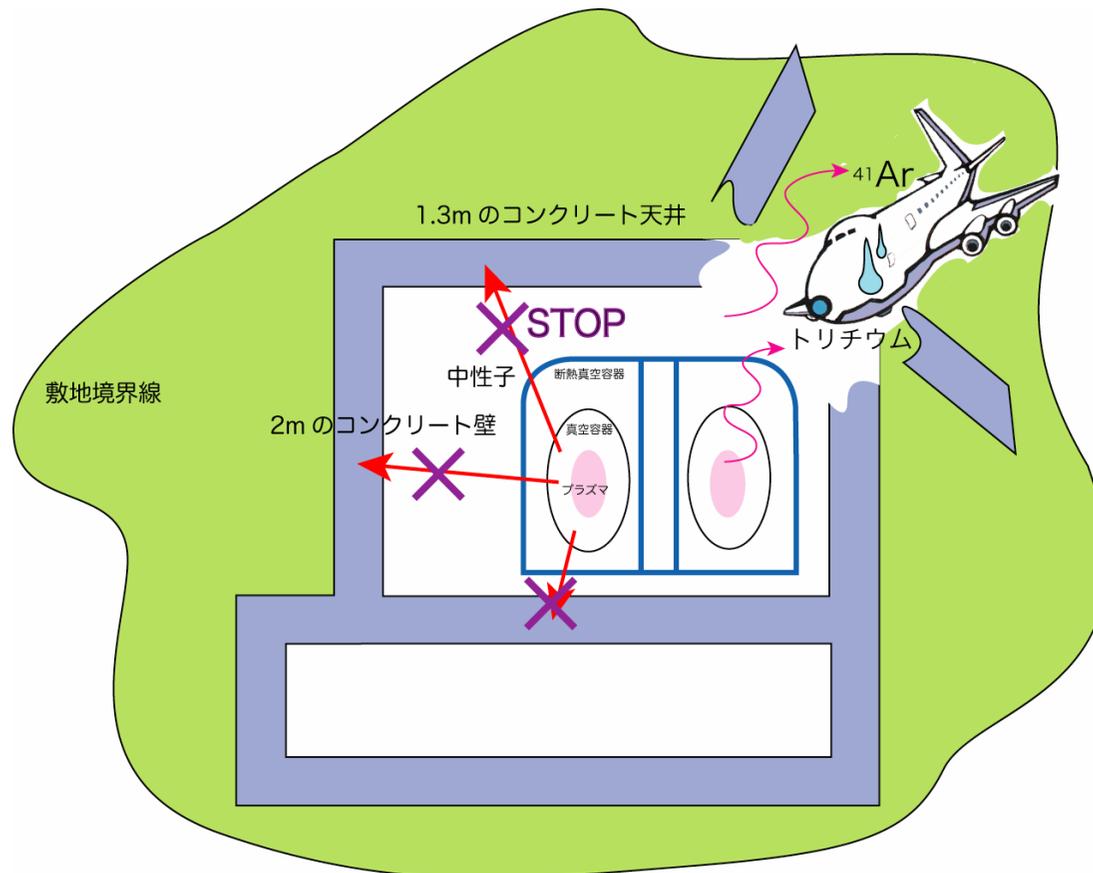
トリチウムの本体室への飛散



仮に1年間に発生したトリチウムが全て飛散しても、濃度は法規空气中規制値0.8Bq/cc(水蒸気)より低0.43q/cc

本体室から外界へトリチウムがでる場合、濃度はさらに低減

# もしも壁が崩れたら？



航空機の激突や巨大地震などによる実験室の壁の崩壊など(震度7程度の地震では起こりません)の場合、自動停止装置により即座にプラズマは消去



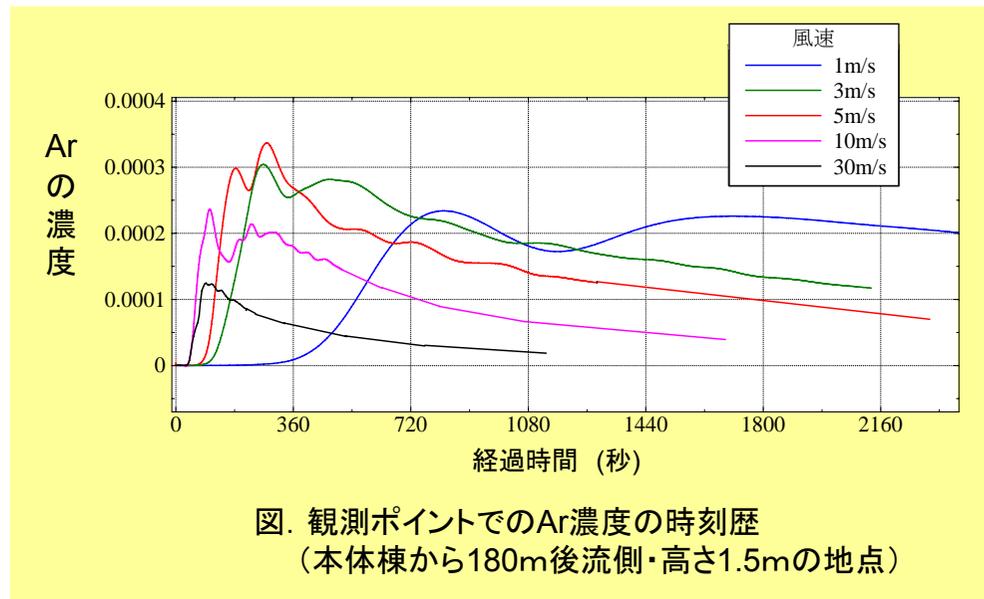
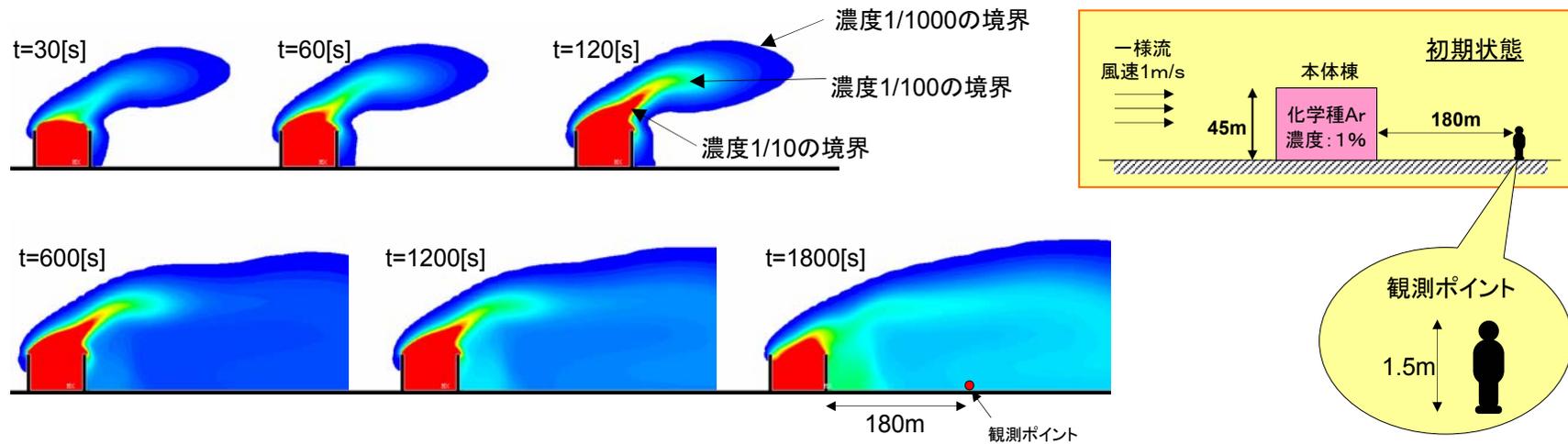
中性子は外界に出ない

震度4で自動停止(地震計)  
カメラによる壁の監視

放射化したアルゴンが外界へ飛散しても、法令による空中濃度限度以下  
また $^{41}\text{Ar}$ の半減期は約2時間と短いので、長期間停滞して環境に影響を与えない



# 5. 3 天井が取れた場合の $^{41}\text{Ar}$ の飛散シミュレーション



敷地境界に達するまでに濃度は減少し、最大でも本体室内の濃度の4%程度



## 保管中のトリチウム含有水の漏洩の心配は？

---

実験中の排気ガスから取り出されたトリチウム含有水の管理は、

- (1) 保管施設を、耐震基準を満たして建築する、
- (2) 指定された保管容器で保管する、
- (3) 保管量をなるべく少なくする、
- (4) 保管容器からの漏洩を想定し、保管施設に保管容器を保管する場合、ステンレス製の保管槽を設置して、その中に保管する。これにより、万一、保管容器から漏洩しても、回収できるようにする、
- (5) さらに保管槽から漏洩しても、保管施設の床から回収する、  
ベータ線のため、人が近づくことができる
- (6) 回収できず、環境中に流失の恐れのある場合には、大量の水で洗浄する、  
ことにより行う。

以上により、地震などの災害が発生しても環境への影響を抑えることができると考えている。



# 重水素実験情報の地元自治体への通知、公表など 地元自治体への連絡

1. 3. 6

## [連絡先]

- 地元自治体と協議の上決定

## [緊急通報を要する事項]

- 火災などの事故が発生したとき
- 事故などにより、法令の限度を超えるトリチウム含有水が施設内に漏洩したとき
- 敷地境界の年間線量が法令の限度を超えたとき
- 法令の限度を超えるトリチウムおよびアルゴン41が排気されたとき
- 法令の限度を超えるトリチウム含有水が排水されたとき
- 地震等災害の発生その他周辺環境に影響を及ぼすおそれのある事態が発生し、重水素実験を停止したとき

## [遅滞なく連絡すべき重要事項]

- 中性子およびトリチウムの年間発生量が年間最大発生量を超えたとき
- 事故などにより、保管するトリチウム含有水が施設内に漏洩したとき
- 敷地境界の年間線量が研究所の管理値を越えたとき
- 研究所の管理値を超えるトリチウムおよびアルゴン41が排気されたとき
- 研究所の管理値を超えるトリチウム含有水が排水されたとき
- 地震などの災害で重水素実験を停止し、実験再開には機器の修理等が必要な事態となったとき



## 地元自治体への連絡(2)

---

1. 3. 6

### [事前連絡および遅滞なく連絡すべき事項]

- 各年度における重水素実験の開始時期および終了時期(議会にも通知)
- 研究施設の整備計画、研究計画および研究内容並びにこれらの変更があった場合

### (事前連絡)

- 研究成果(定期的に連絡)
- 次節に示した公表義務のある事項
- 各年度の重水素実験終了後、中性子およびトリチウムの年間発生量、トリチウムの環境への年間放出量、敷地境界の年間線量等



情報をホームページなどを利用して広く公開する

### [公表義務のある事項]

- 予備的実験によって、コンクリート遮蔽壁、トリチウム除去装置および周辺環境監視装置等が所期の性能を発揮し、かつ、所定の安全性確保上の態勢も十分機能していることを確認した結果
- 該当年度当初の実験計画
- トリチウムおよび中性子の発生量、当該年度のこれらの累計発生量
- 放射線量の監視結果
- トリチウムの回収・保管量、処分量および処分方法(定期的に公表)
- 各年度における重水素実験の開始時期および終了時期
- 地元への一層の理解を深めるため、少なくとも年1回の研究施設の公開
- 地震等災害の発生その他周辺環境に影響を及ぼすおそれのある事態が発生し、重水素実験を停止したとき

### [公表事項]

- 日々の実験情報(日々の実験予定、日々の実験結果と1週間のまとめ)
- 実験の進捗状況をまとめたもの(1サイクルで数回、市民の方へメールでも公開)
- プラズマ実験期間中の制御室及びLHD本体の様子(実況公開)



## まとめ

本安全管理計画は、LHD装置での重水素実験計画とその安全対策、管理計画、災害と事故時の対応及び周辺の環境評価などについて、現在の計画をまとめたものである

今後も、本委員会をはじめ、関係各位の意見を取り入れながら、安全計画の一層の充実を図る所存である

### 基本的考え方

- ・ 研究所がこれまで、公表、約束したものは、これを遵守する  
トリチウムを燃料とした実験は、土岐キャンパスでは行わない
- ・ 公害等調整委員会の調停案を尊重する

### 安全に係わる考え方

- ・ 発生するトリチウム、中性子の量をできるだけ少なくする
- ・ 環境へ放出されるトリチウム、中性子の量をできるだけ少なくし、影響を与えない
- ・ 真空容器内に留まるトリチウム量は、全量が放出されても規制値を超えない量とする、
- ・ 環境に影響を及ぼす可能性が考えられる放射性物質の生成は、規制値を超えない量とする、
- ・ トリチウム含有水などの保管は、漏洩に関して厳重に注意を払う

核融合科学研究所では、本安全管理計画、重水素実験計画の立案などのため、重水素実験準備室を立ち上げ、これを行ってきた

また、所長、大型ヘリカル研究部をはじめ、安全衛生委員会、安全衛生推進部、安全センターなど、全所的、全面的な支援を得て、推進している