

平成23年12月15日
重水素実験安全評価委員会
第8回 資料4-2

東日本大震災を受けて再検討した 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)

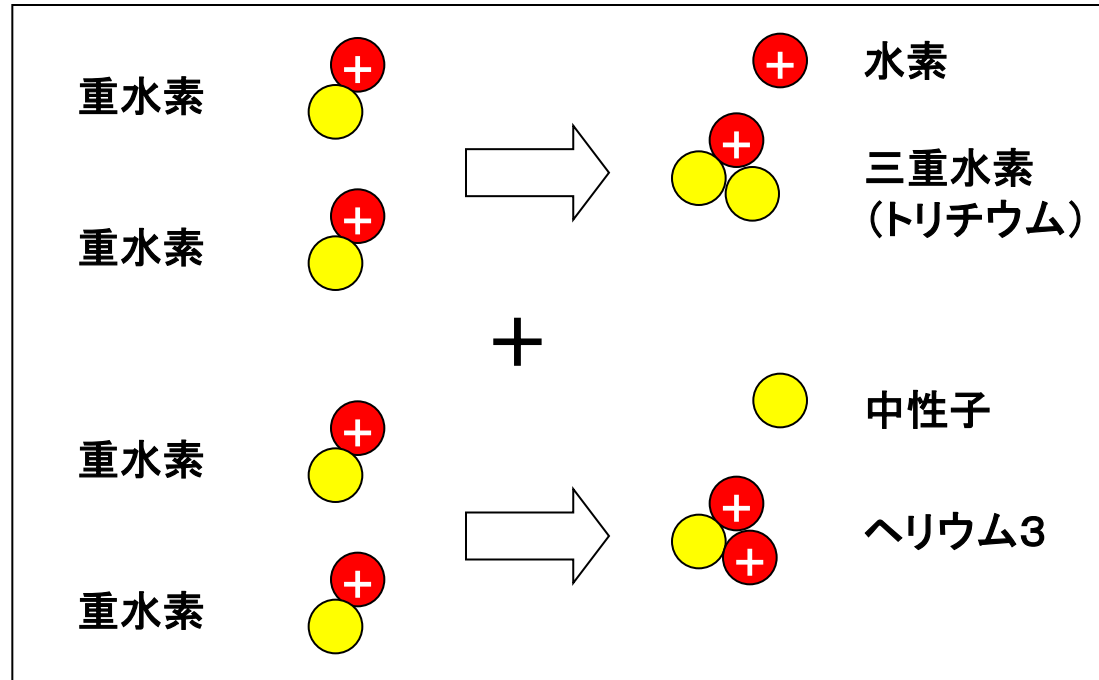
2. 従来 of 安全管理計画概要

自然科学研究機構
核融合科学研究所



従来の安全管理計画概要

重水素実験で生じる放射線 重水素実験の核融合反応



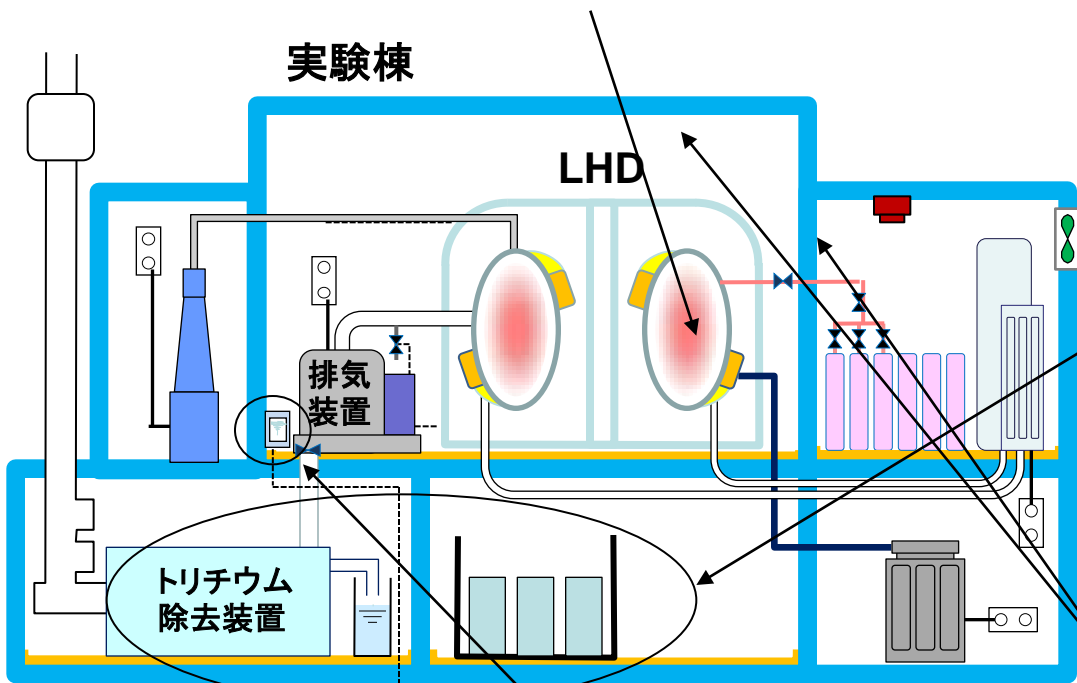
実験に使用した重水素の0.01%以下の僅かな量が反応

↓
トリチウム } 対策が必要
中性子 }



LHDの重水素実験

プラズマが点いているときだけ、15分に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発生
放射性物質として扱わなくて良い量
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

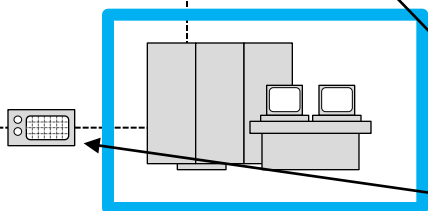
中性子

1回に最大で 5.7×10^{16} 個 発生

処置

本体室の壁・天井で遮蔽

緊急地震速報



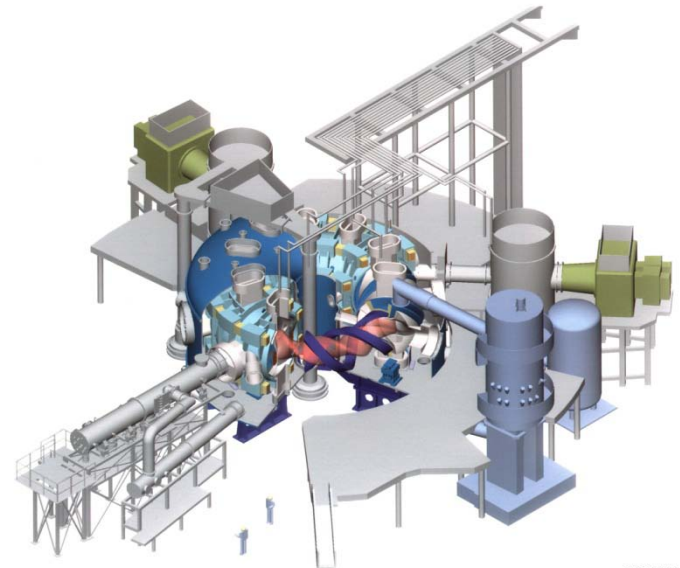
地震対応(電気が止まると、即座に消える)

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

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

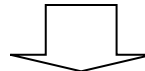
また、本研究所勤務者が研究所内でリスクを負わない適切な環境を実現して、重水素実験を実施することが重要と考える

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



- 1) 発生するトリチウム量をできるだけ少なくする、また、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、
 重水素の使用は、ハイパワー実験期間を含め必要最小限とする
 実験期間の最後に1ヶ月程度水素やヘリウムで実験
 実験終了後、1ヶ月程度水素やヘリウムのグロー放電で放電洗浄
 } 真空容器壁に留まるトリチウムの低減
- 2) トリチウム含有水の保管は、漏洩に関して嚴重に注意を払う
 保管槽の設置

- 1) 自動停止装置に加え、異常が生じると即座に自然にプラズマが消える性質等を利用し、災害・事故時には中性子の発生を即座に止める、
 プラズマの消去 → 核融合反応の停止 → 中性子の発生の停止
- 2) 環境に影響を及ぼす可能性が考えられるアルゴン41などの生成は、環境中に万一放出されても規制値を超えない量とする
 生成量の低減
- 3) LHD、本体室内壁の放射化を必要最小限に抑え、消火活動等に支障がないよう、常に備える



災害・事故が発生しても、環境に影響を与えない

〔加熱条件〕

1) 中性粒子加熱装置 (NBI)

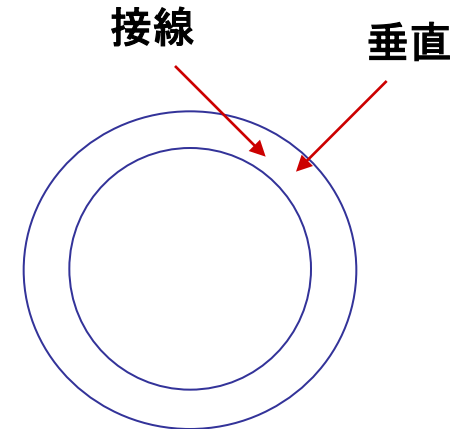
- ・接線入射型：現在の加速電圧180kVで重水素に対応
- ・垂直入射型：現在の加速電圧80~60kVで重水素に対応
- ・入射パワー：垂直18MW + 接線14MW の32MW

2) イオンサイクロトロン共鳴加熱装置 (ICRF)

- ・定常 : 水素ガスを用いた1時間、3MW
重水素の場合 → 放電時間、パワーは放射線の発生量が3秒放電の最大値を超えない値
- ・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：154GHz + 現有の77GHz、6MW



〔放電時間〕

- 1) 通常実験 : 3秒
- 2) 定常実験 : 1時間

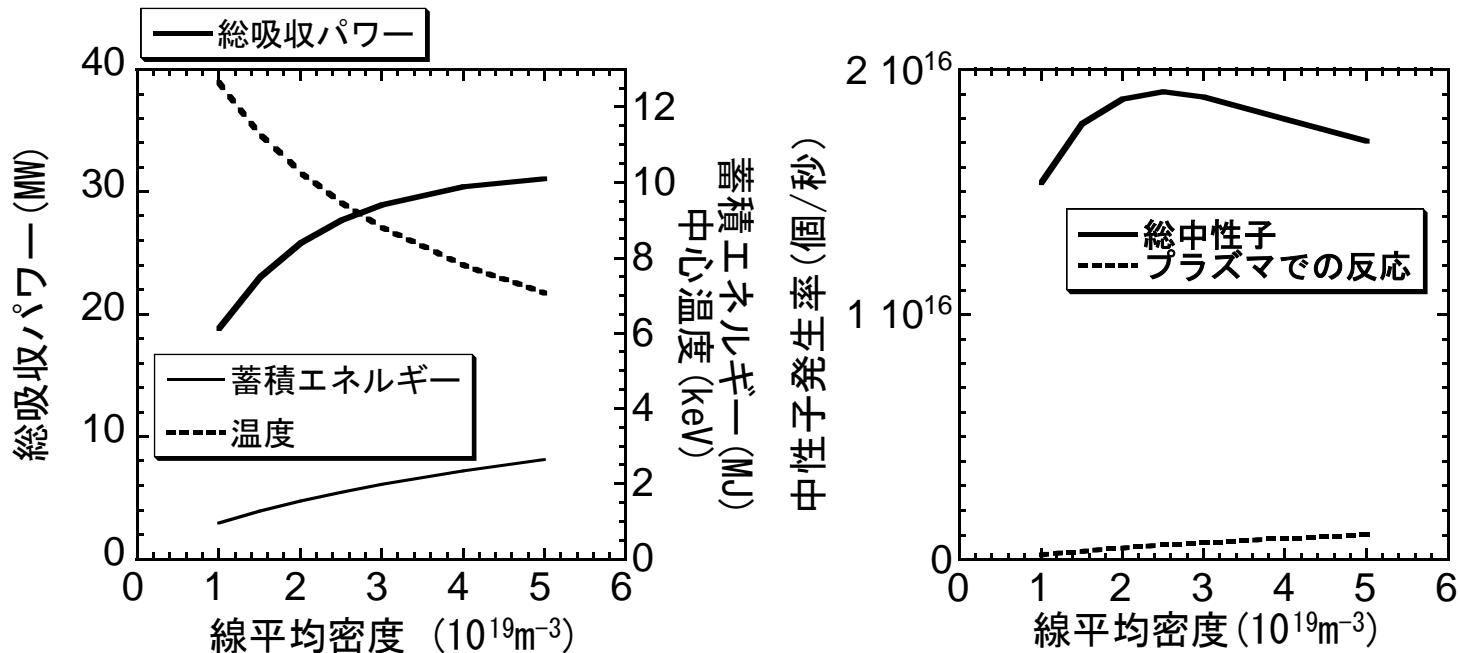
連続したプラズマ生成の単位 → 「ショット」と呼ぶ



予想されるプラズマと最大中性子発生量

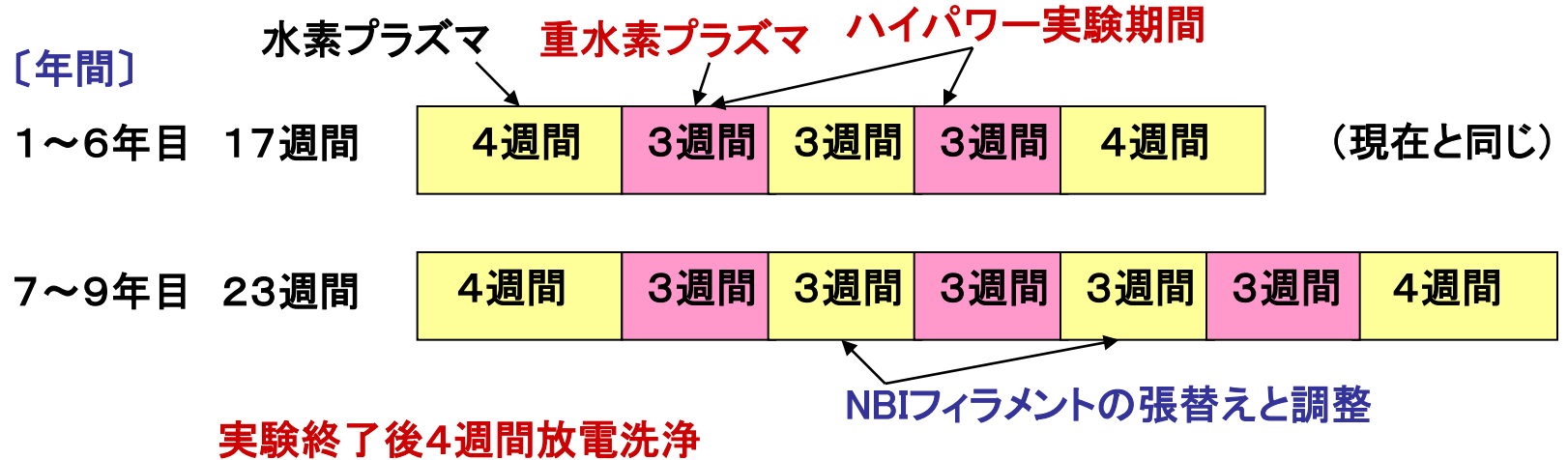
磁場強度	3 テスラ	閉じ込め改善度	現在の1.33倍	最終目標値
NBI 接線180keV	14MW(重水素)	線平均密度	25兆個/cc	
垂直60keV	18MW(重水素)	中心温度	1億1千万度	
ICRF + ECH	合わせて3MW	蓄積エネルギー	177 万ジュール	
		最大中性子発生量	5.73×10 ¹⁶ 個/ショット (このうち熱中性子反応は1.79×10 ¹⁵ 個/ショット)	

定常実験(ICRF): 3秒放電の最大中性子発生量と同じ





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)

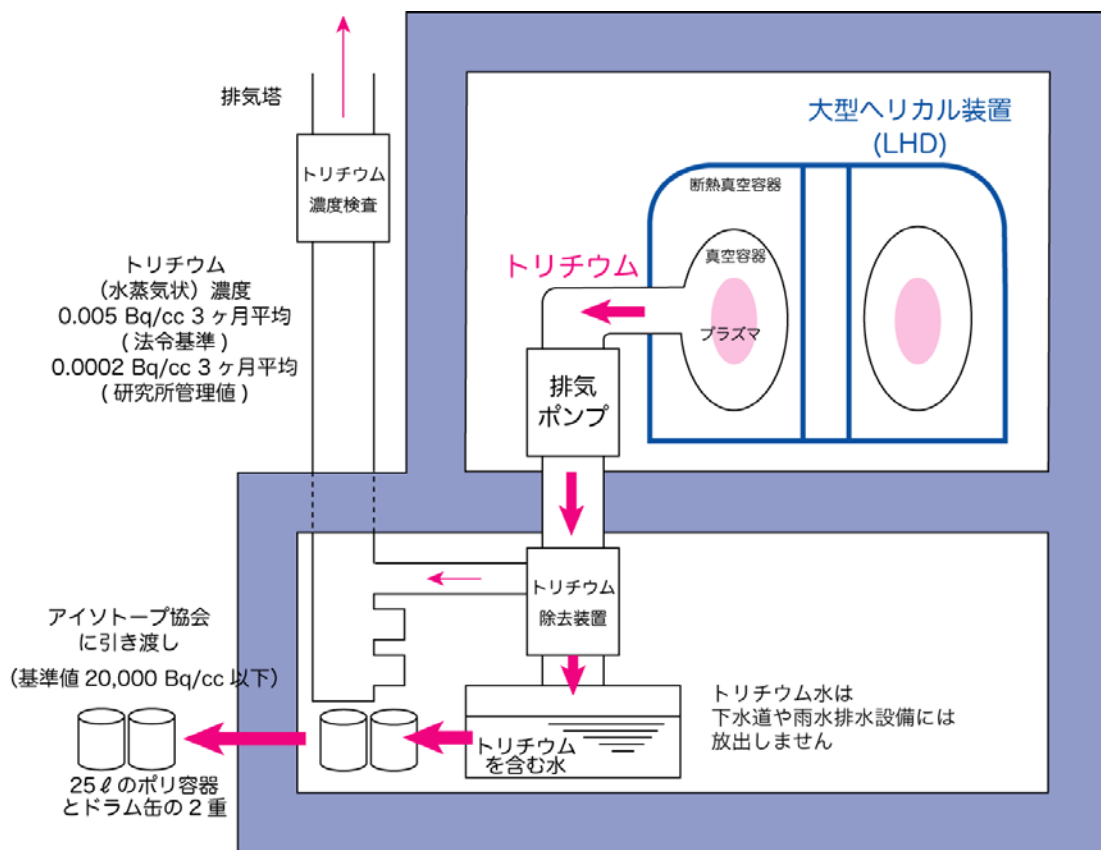
LHDの重水素実験は第9年度で終了し、その後はLHD装置の有効利用を目的とした科学的な研究計画へ転換

	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

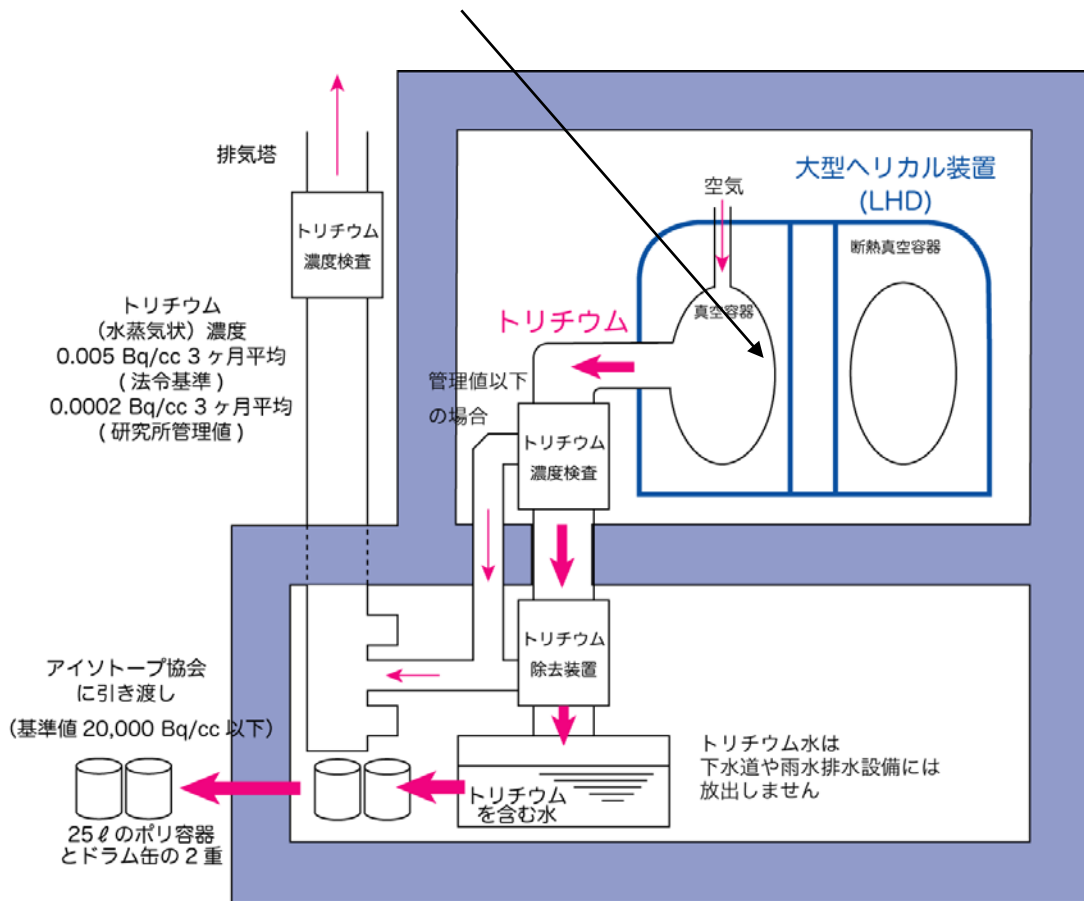
トリチウム対策

重水素プラズマ実験中に発生するトリチウムの除去

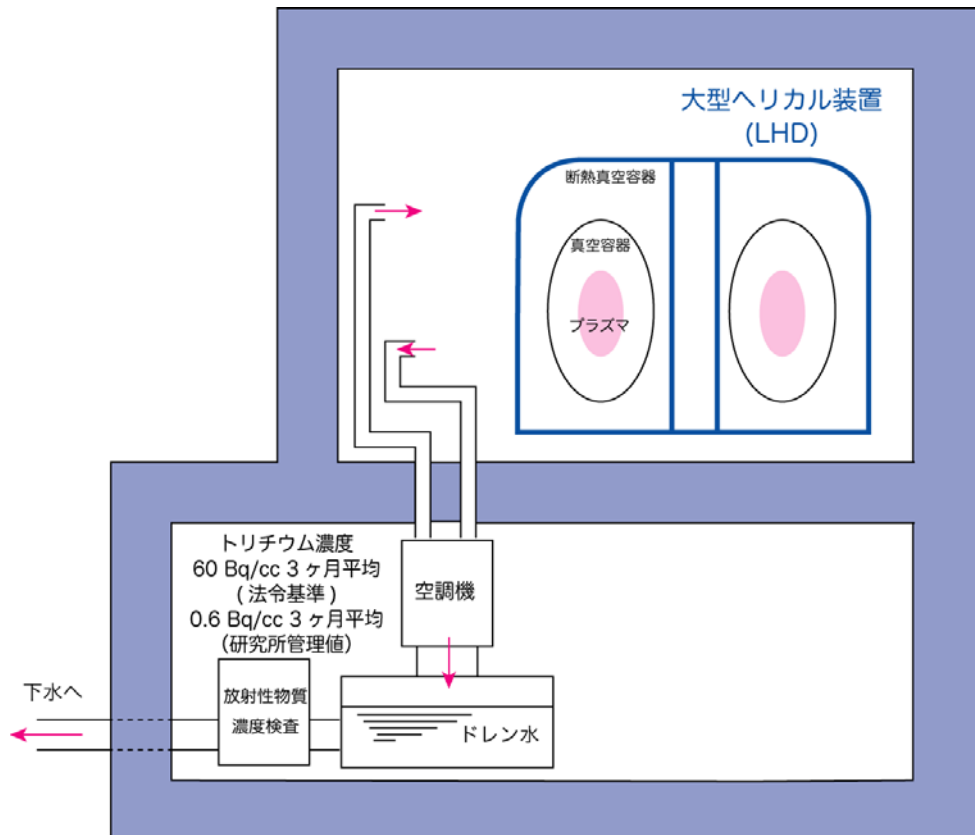


1. 発生する微量のトリチウムの大部分は、排気ガスとして、真空排気ポンプを経由してトリチウム除去装置に導き、水の形で除去・回収
2. トリチウムを除去した排気ガスは、トリチウム濃度が研究所管理値(0.0002Bq/cc)以下であることを確認しながら、建屋排気塔から外気に放出
3. トリチウム除去装置により回収されたトリチウムを含む水は、保管容器に密封保管後、日本アイソトープ協会に引き渡して処分

内壁にトリチウムが付着している可能性 → 脱離

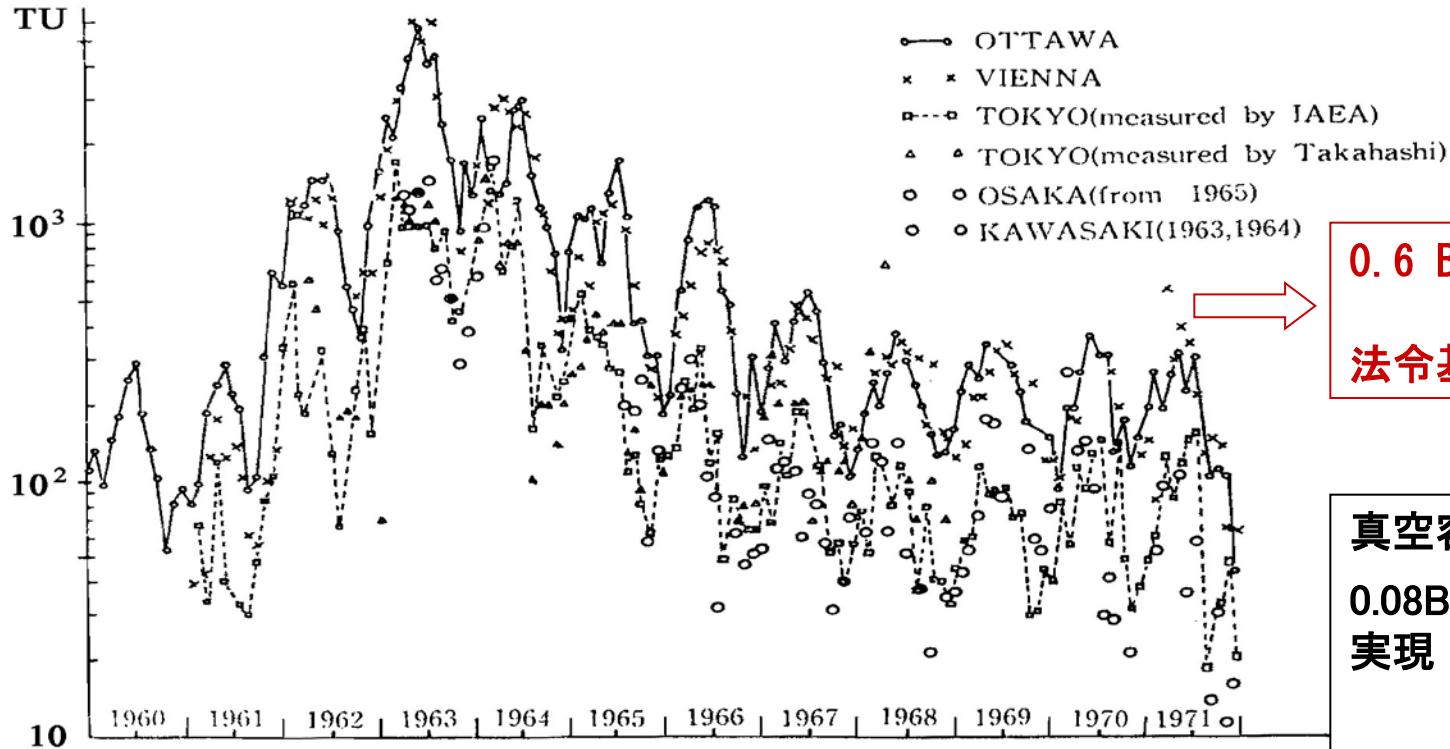


1. 点検整備時、真空容器内に作業者が入って作業を行う際は、酸欠防止のため真空容器内に空気を送って換気
2. 換気されたガスはトリチウム濃度検査を行い、研究所管理値を越える場合は、トリチウム除去装置に導き、水の形で除去・回収
3. トリチウムを除去した残ガスは、トリチウム濃度が研究所管理値以下であることを確認しながら、建屋排気塔から外気に放出
4. トリチウム除去装置により回収されたトリチウムを含む水は容器に密封保管後、日本アイソトープ協会に引き渡して処分



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入り出す際、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

降水中トリチウム濃度の推移



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

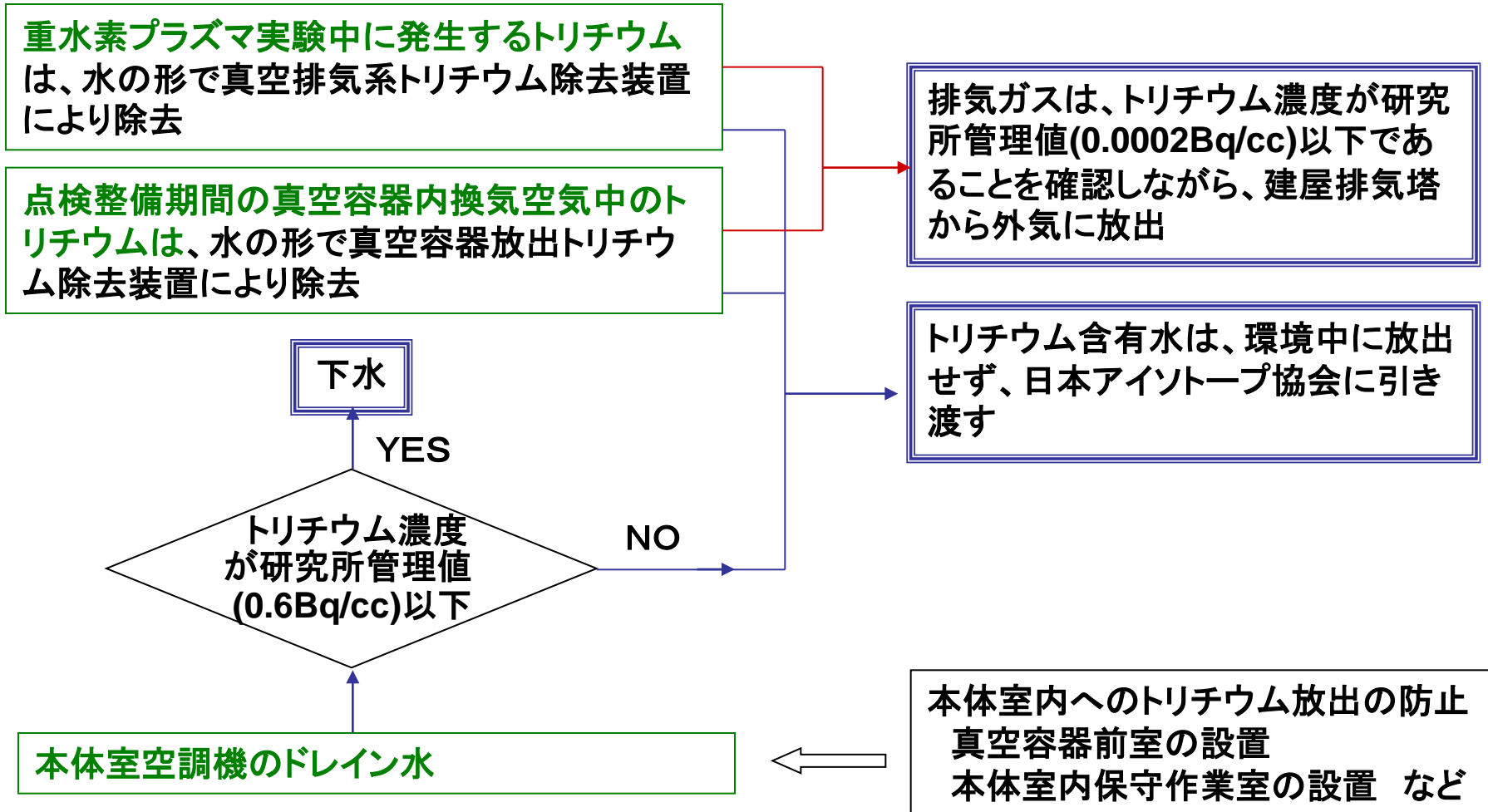
0.6 Bq/cc 3ヶ月平均
//
法令基準の100分の1

↓
真空容器内
0.08Bq/ccの作業環境を実現
↓
7.8m³の入替わりで管理
(1日でトリチウムを回収と仮定)

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



トリチウム対策のまとめ



研究所管理値

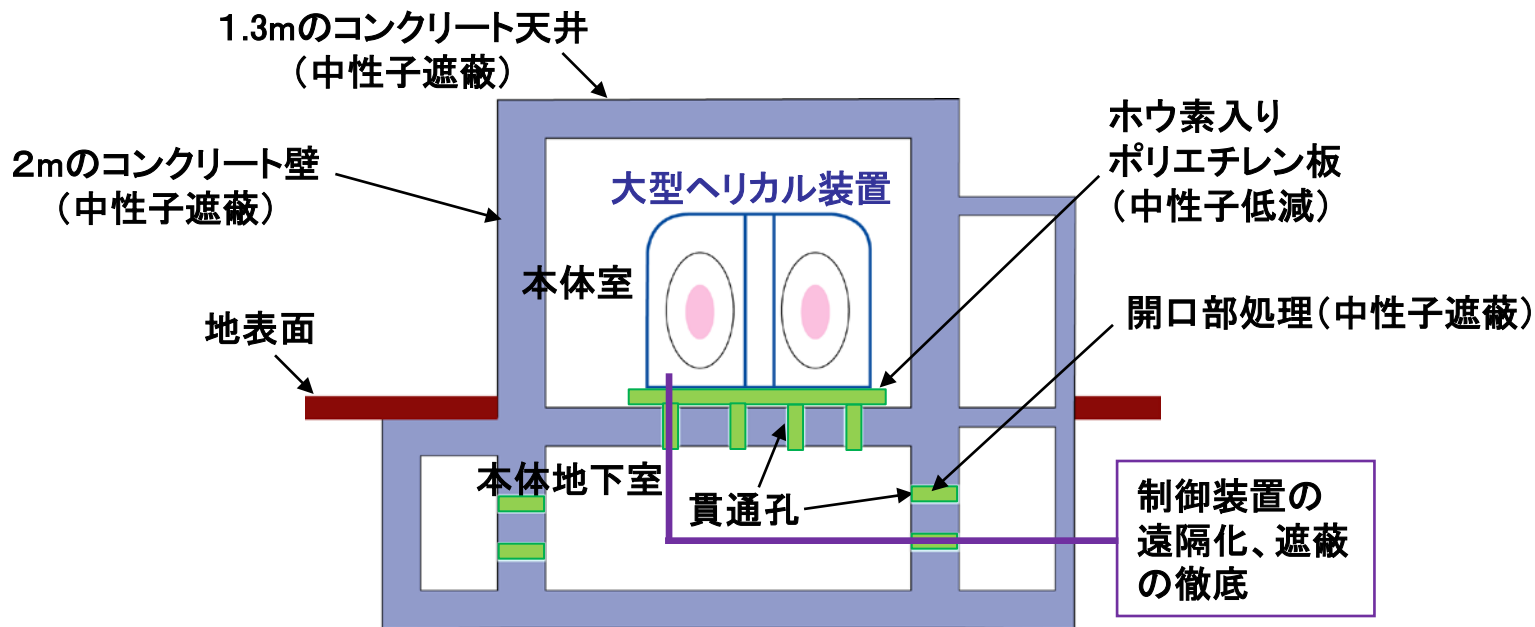
放射性同位元素の種類		空气中濃度限度 ¹⁾ (Bq/cc)	排気中又は空气中の濃度限度 (Bq/cc)	排液中又は排水中濃度限度 (Bq/cc)
核種	化学形等			
³ H	トリチウムガス	1×10^4	7×10^1	
³ H	トリチウム蒸気、水	8×10^{-1}	2×10^{-4}	6×10^{-1}

法定濃度限度

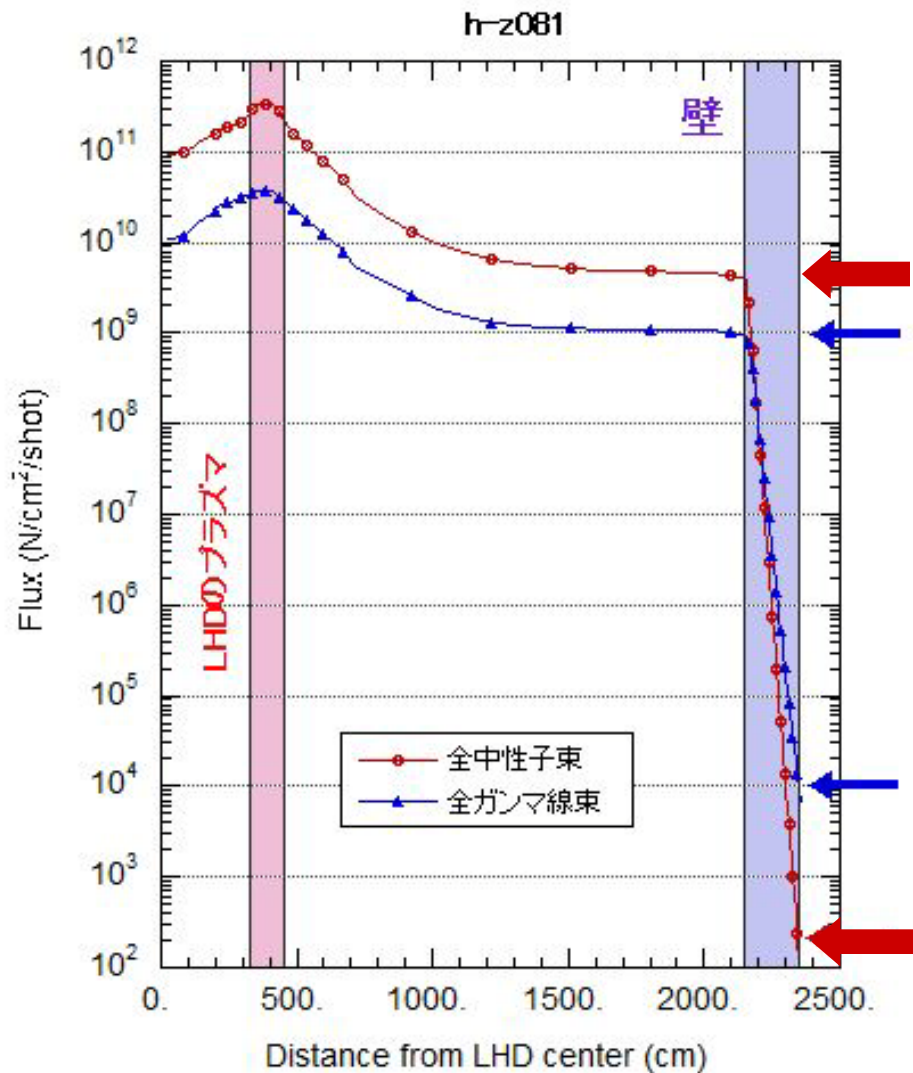
放射性同位元素の種類		空气中濃度限度 ¹⁾ (Bq/cc)	排気中又は空气中の濃度限度 (Bq/cc)	排液中又は排水中濃度限度 (Bq/cc)
核種	化学形等			
³ H	トリチウムガス	1×10^4	7×10^1	
³ H	トリチウム蒸気、水	8×10^{-1}	5×10^{-3}	6×10^1

1) 放射線業務従事者の作業環境

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
放射化への対応	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



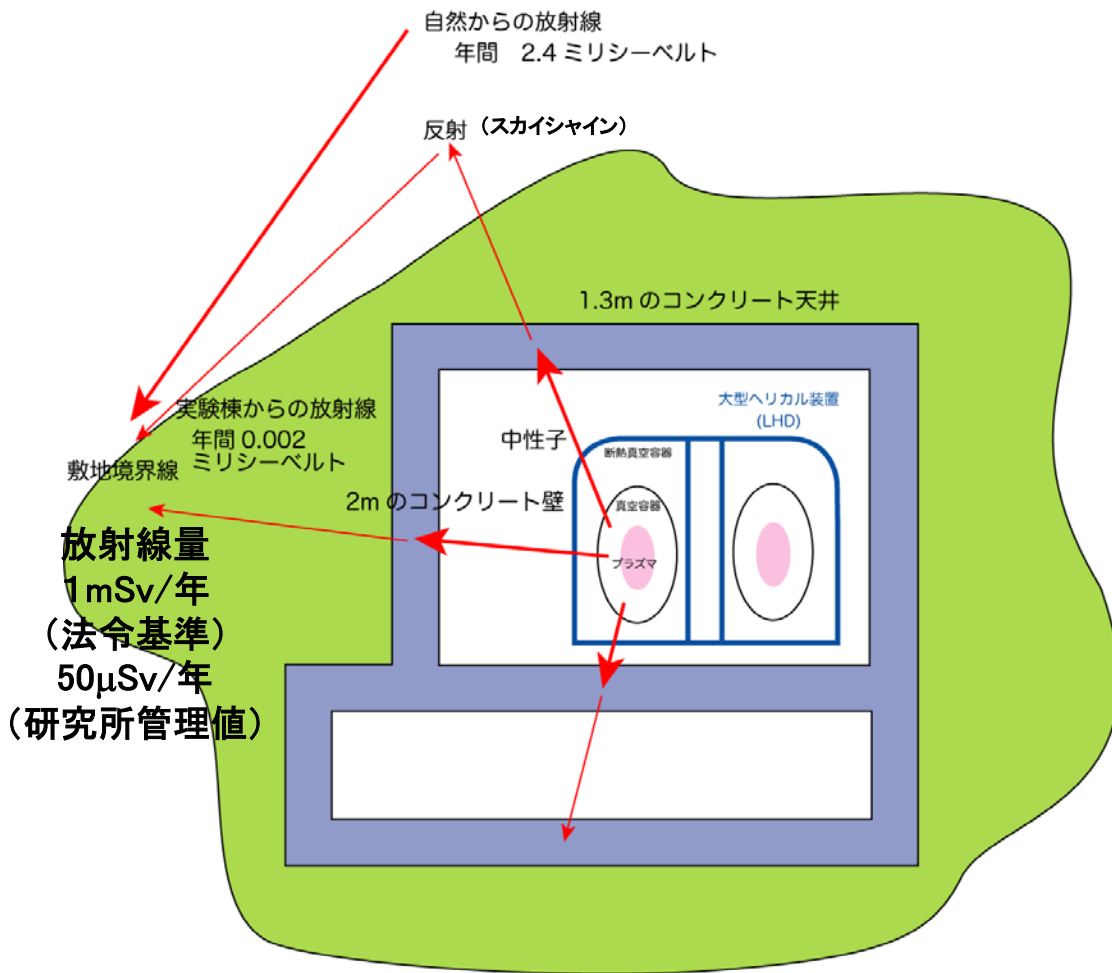
コンクリート壁の遮蔽能力



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 2.4×10^{16} n/sec

14 MeV中性子 4.3×10^{14} n/sec

放射線の強度解析: 二次元の輸送解析コードDORT

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

[管理基準]

管理区域は 1mSv/週

非管理区域は1.3mSv/3ヶ月

今回、管理区域を変更

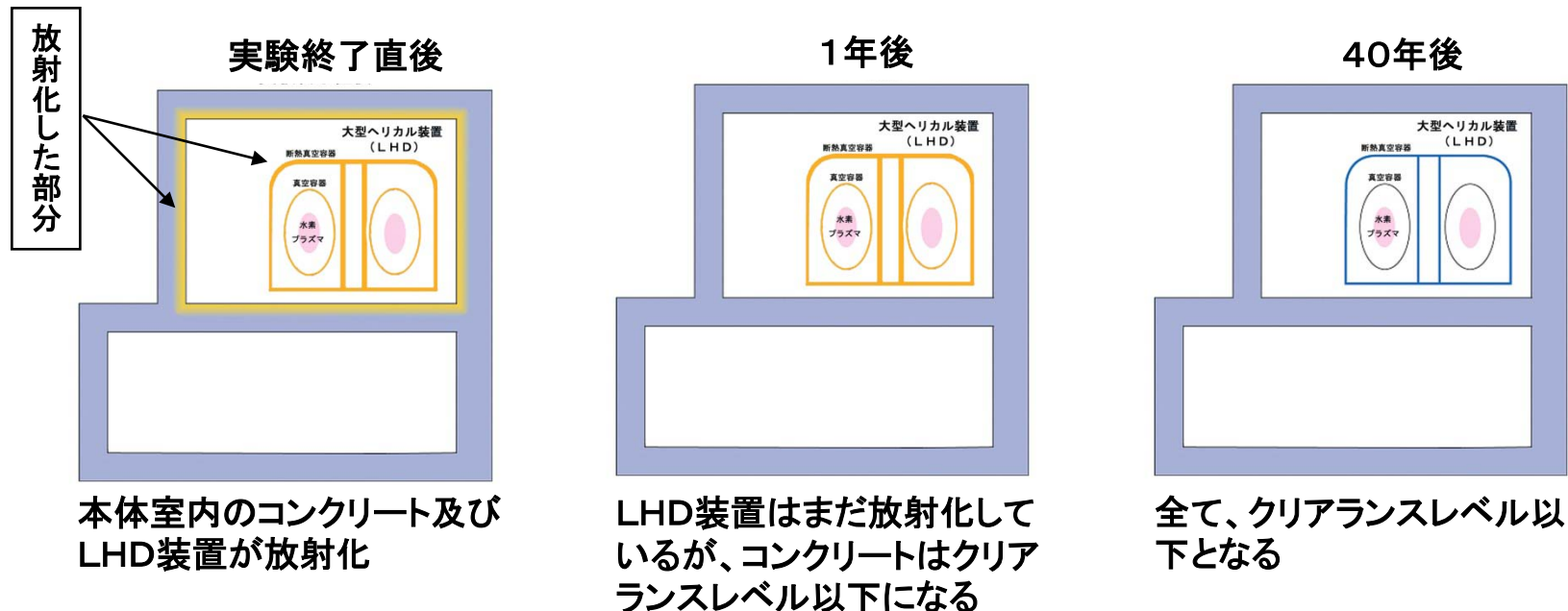
放射化したLHDとコンクリート

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

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

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

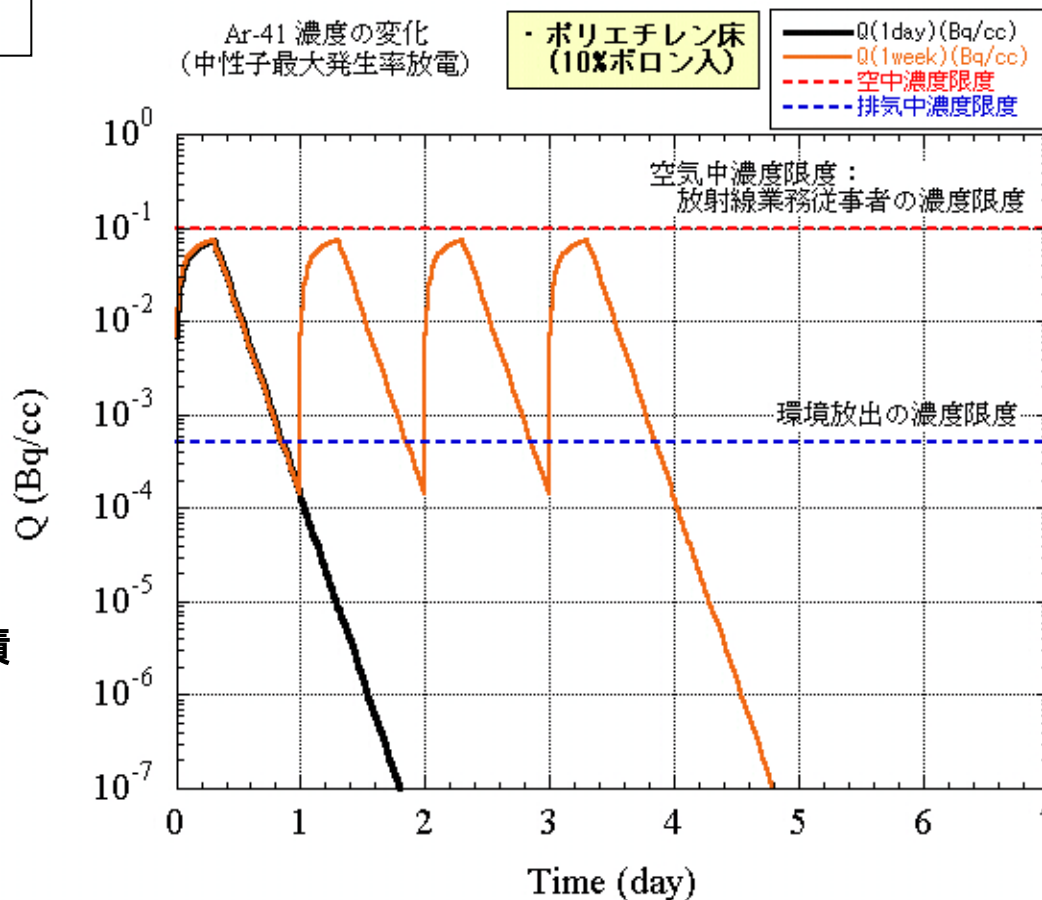


空気中に含まれる¹⁴N, ¹⁶O、⁴⁰Arから放射性物質 ¹³N, ¹⁶N、⁴¹Arの生成反応;

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

⁴¹Ar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

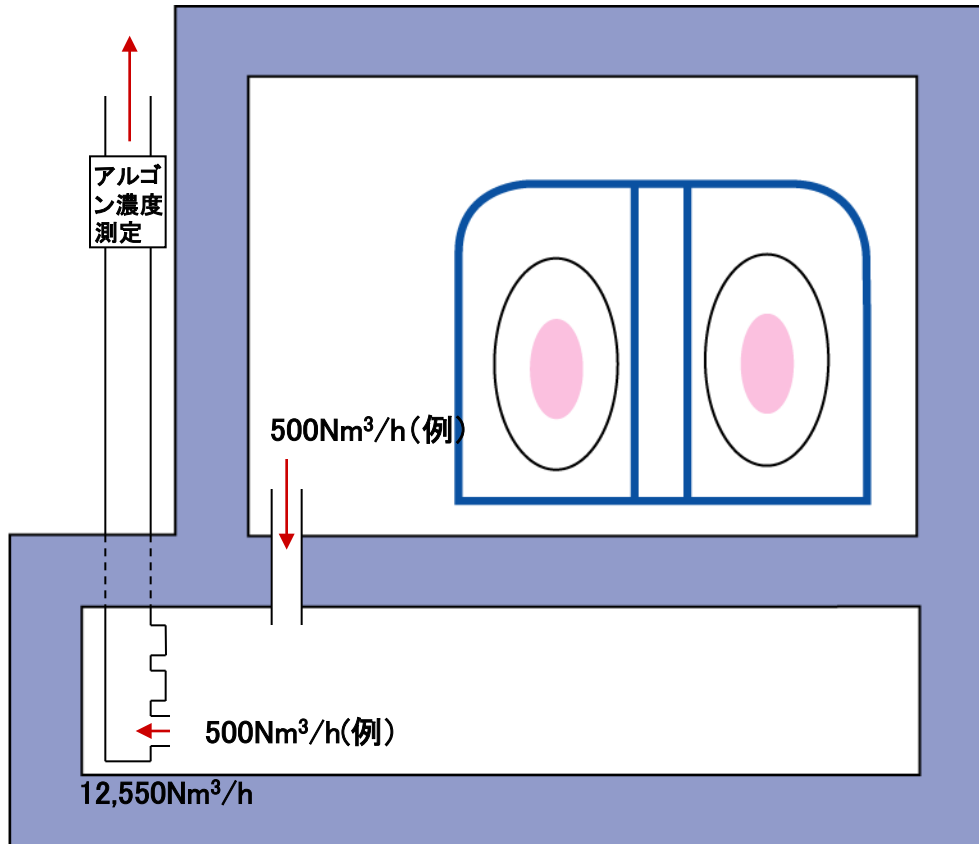
ホウ素入りポリエチレン板で放射化を低減





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

II

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、敷地境界で年間の自然放射線量の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
- 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		空気中濃度限度 ¹⁾ (Bq/cc) 3ヶ月平均	排気中又は空気中の濃度限度 (Bq/cc) 3ヶ月平均
核種	化学形等		
⁴¹ Ar	ガス	1×10^{-1}	5×10^{-4}

敷地境界放射線量 (μ Sv/年)
50

法定濃度限度

⁴¹ Ar	ガス	1×10^{-1}	5×10^{-4}
------------------	----	--------------------	--------------------

1,000

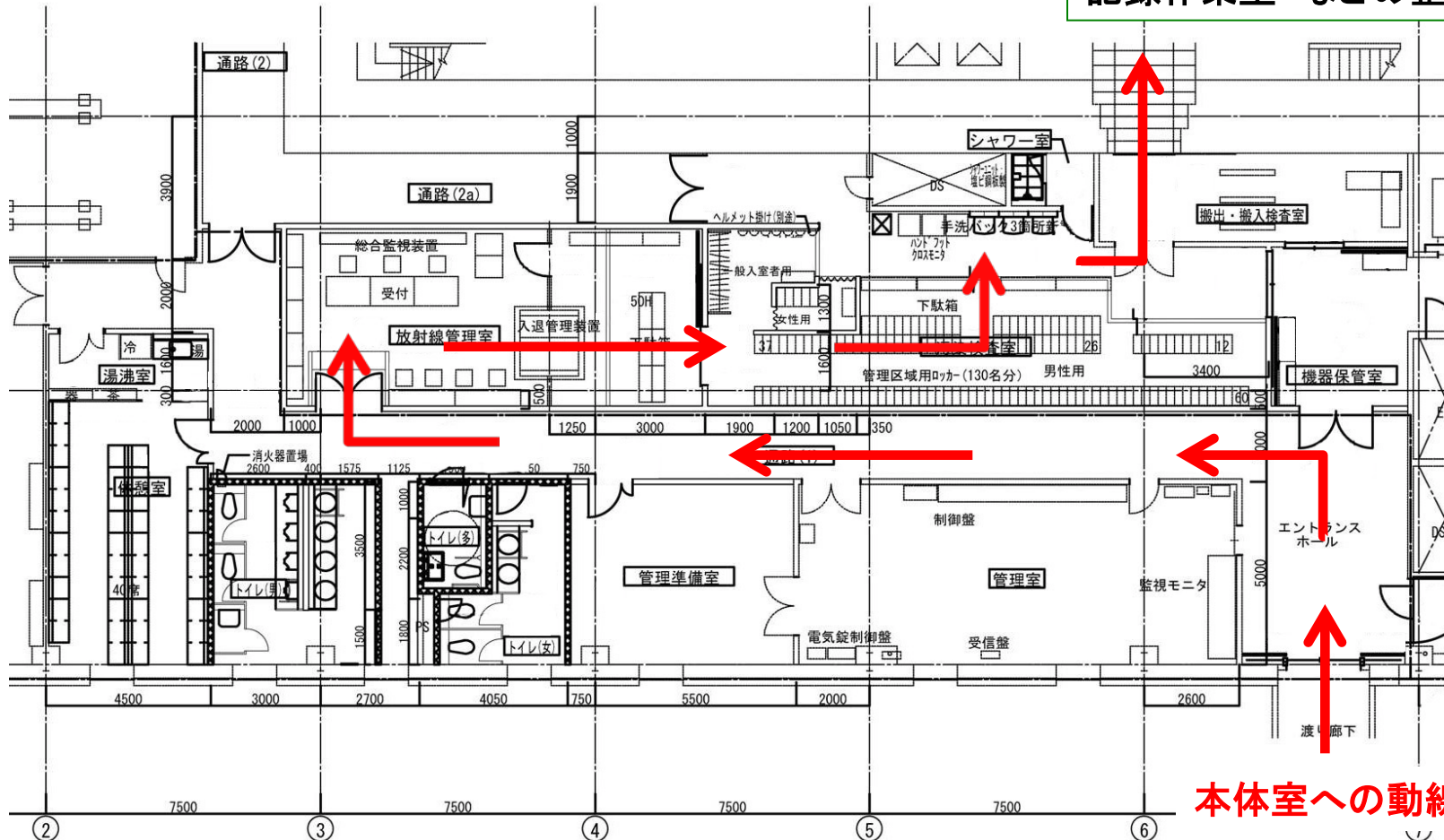


本体室への入退管理対策

入退管理室の整備

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
- クイクセルバッジ(QB)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



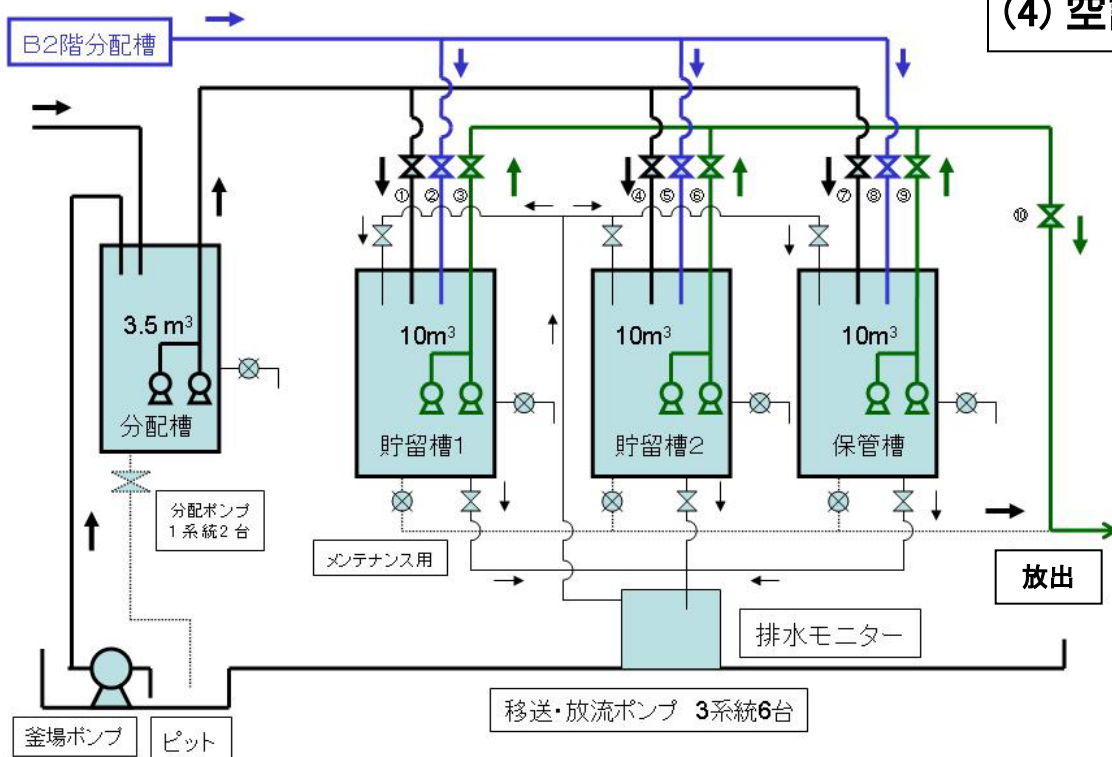
本体室への動線

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

排水系統図



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

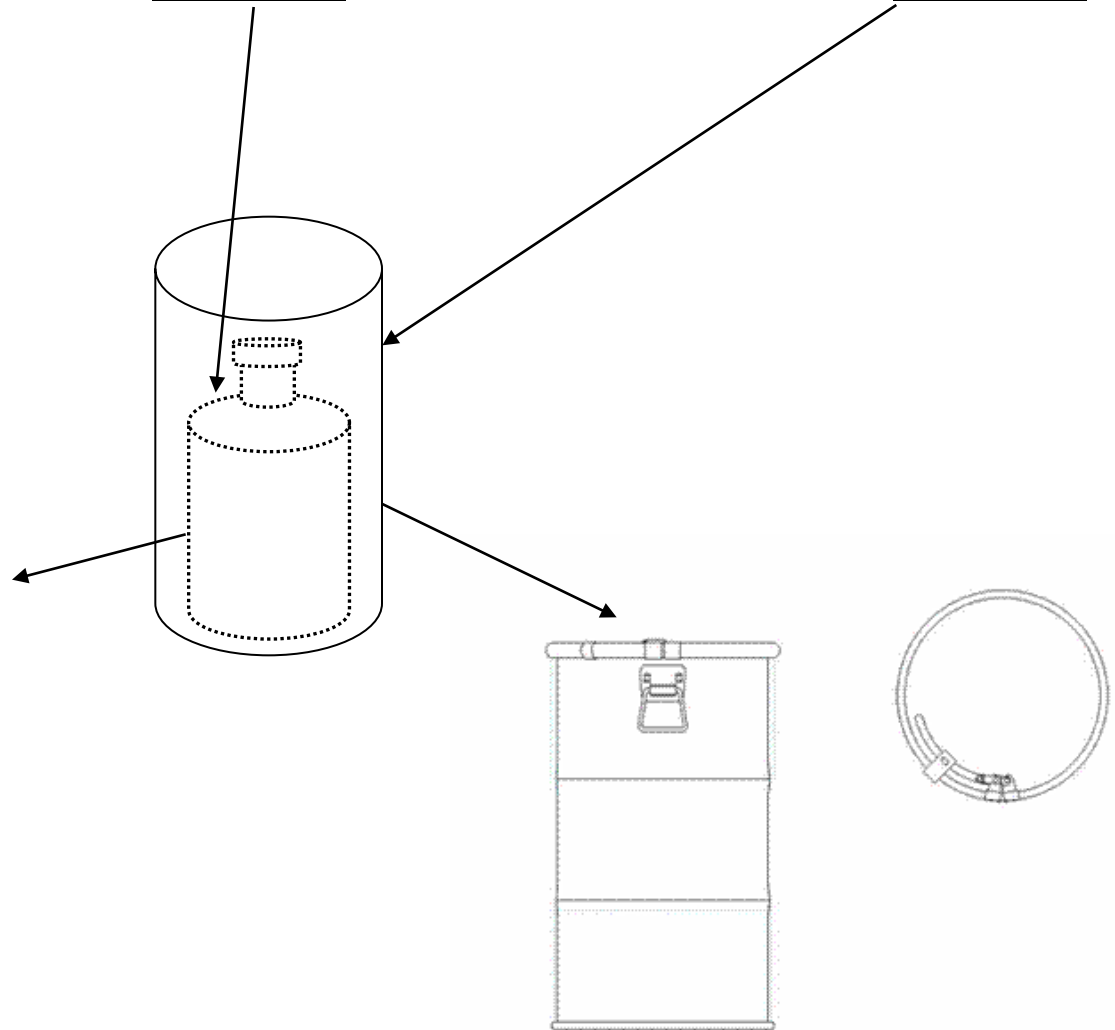
○研究所管理値を超える排水は、専用の保管容器に収納し、RI保管施設で保管して、日本アイソトープ協会へ処理を依頼

排水貯留槽とモニターの構成例



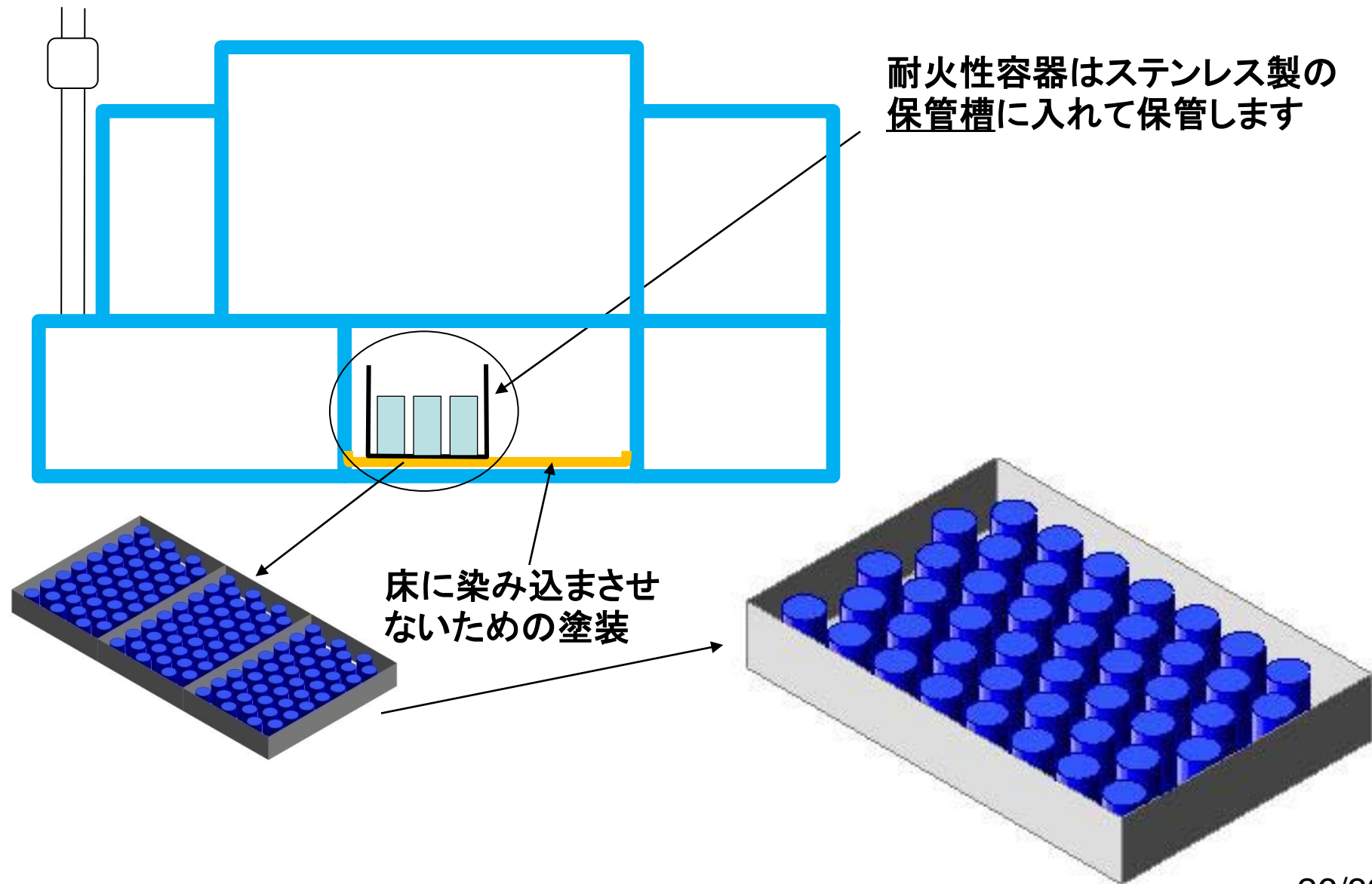
保管容器

トリチウム含有水は25リットルの液体容器に入れ、さらに50リットルの耐火性容器に密閉します





保管槽





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



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]

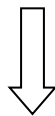
研究所管理値より低い値を自動停止装置に組み込み、この停止設定値以上では、重水素実験ができないようにする。さらに、停止設定値より低い警告値を実験の制御システムに組み込み、警告値に達した後は、実験責任者が停止設定値に達しないように実験を計画し、停止設定値に達する前に、実験を軽水素やヘリウム等のガスを用いたものに切り替える。

[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、放射線取扱主任者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・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



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／連絡手段]

- 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



[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)
- 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



従来の計画のまとめ

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



前回の安全評価委員会報告の 留意事項への対応

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」

に対する検討と対応の進展

- 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検討・設計を行った。
高精度較正手法の検討、検出信号の対ノイズ調査と検出回路検討、等
 - ・安全管理計画の実行に必要な高精度のシステムが実現できることを確認した。

- 微量放射線に対する管理システムの構築及び運用
 - ・安全管理計画を実行できるシステムの検討・設計が完了した。
 - ・さらに、共同研究を主体とした環境放射線測定、微量放射線測定手法等の研究・開発を進めている。

- 第三者により監視を行う組織の設置の検討
 - ・安全監視委員会(仮称)の設置を関係自治体と検討、調整している。

- 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
 - ・市民説明会の継続的な実施(H23年度:23会場770名)
 - ・関係自治体との協定締結に向けた調整の進展