

10-1 重水素実験時の安全対策 (中性子・ガンマ線)

中性子・ガンマ線対策
防護後の線量
研究所管理値

中性子・ガンマ線対策の概要

中性子・ガンマ線遮蔽 ●●●●

中性子低減 ●

本体室内放射化防止 ◎

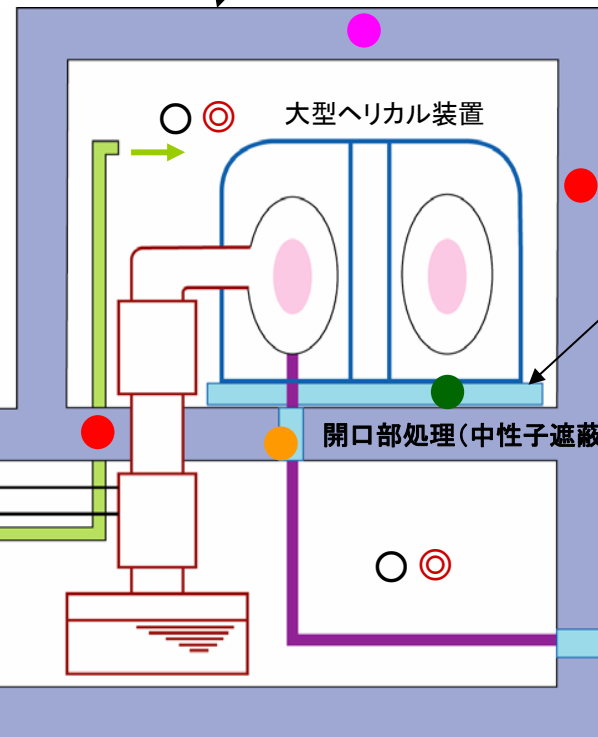
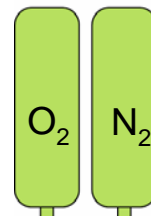
本体室内アルゴン放射化防止 ●◎

管理 ○

中性子対策の概念図

コンクリート壁、天井 (中性子遮蔽)

人口空気発生器
(空気の放射化の
低減)



ホウ素入り
ポリエチレン
板 (中性子低減)

開口部処理 (中性子遮蔽)

制御装置の
遠隔化、遮
蔽の徹底

機器、設備等

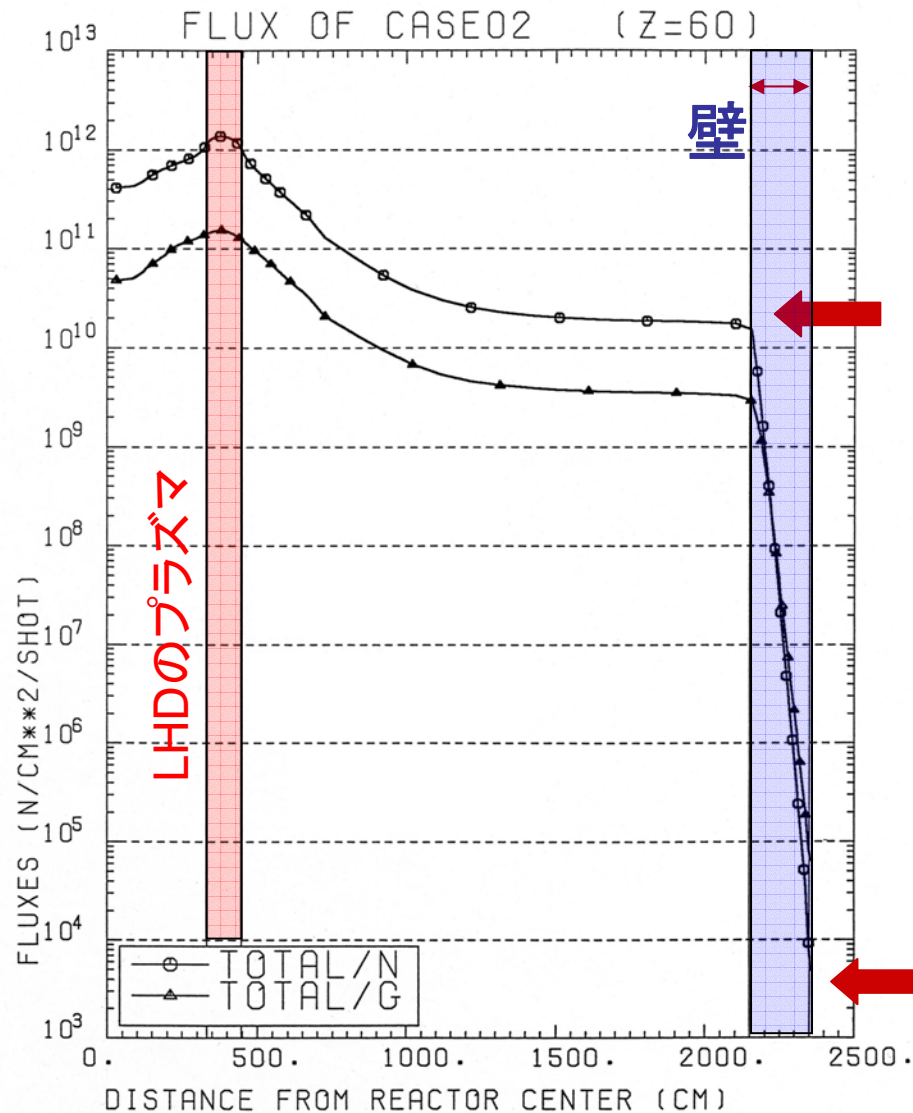
- 2mのコンクリート壁、床
- 1.3mのコンクリート天井
- ホウ素入りポリエチレン版
- 人口空気発生器

処理、改造
管理

- 本体室本体地下室負圧化
- 開口部処理
- ◎ 入退管理対策



コンクリート壁の遮蔽能力



2mのコンクリート壁は

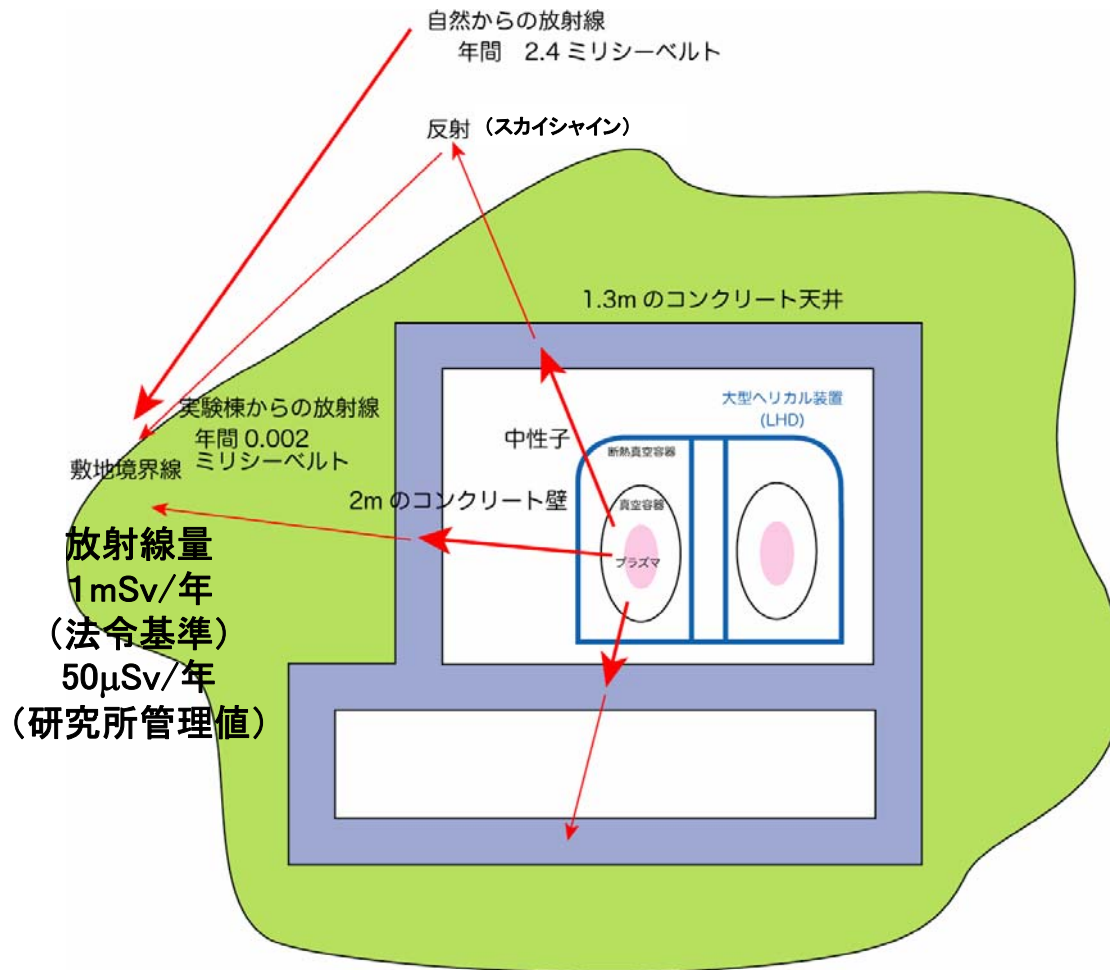
中性子を約1000万分の1に(7桁)減衰

させる遮蔽能力がある



中性子の遮蔽 —敷地境界—

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

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**などが必要となる

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、一部管理区域とする

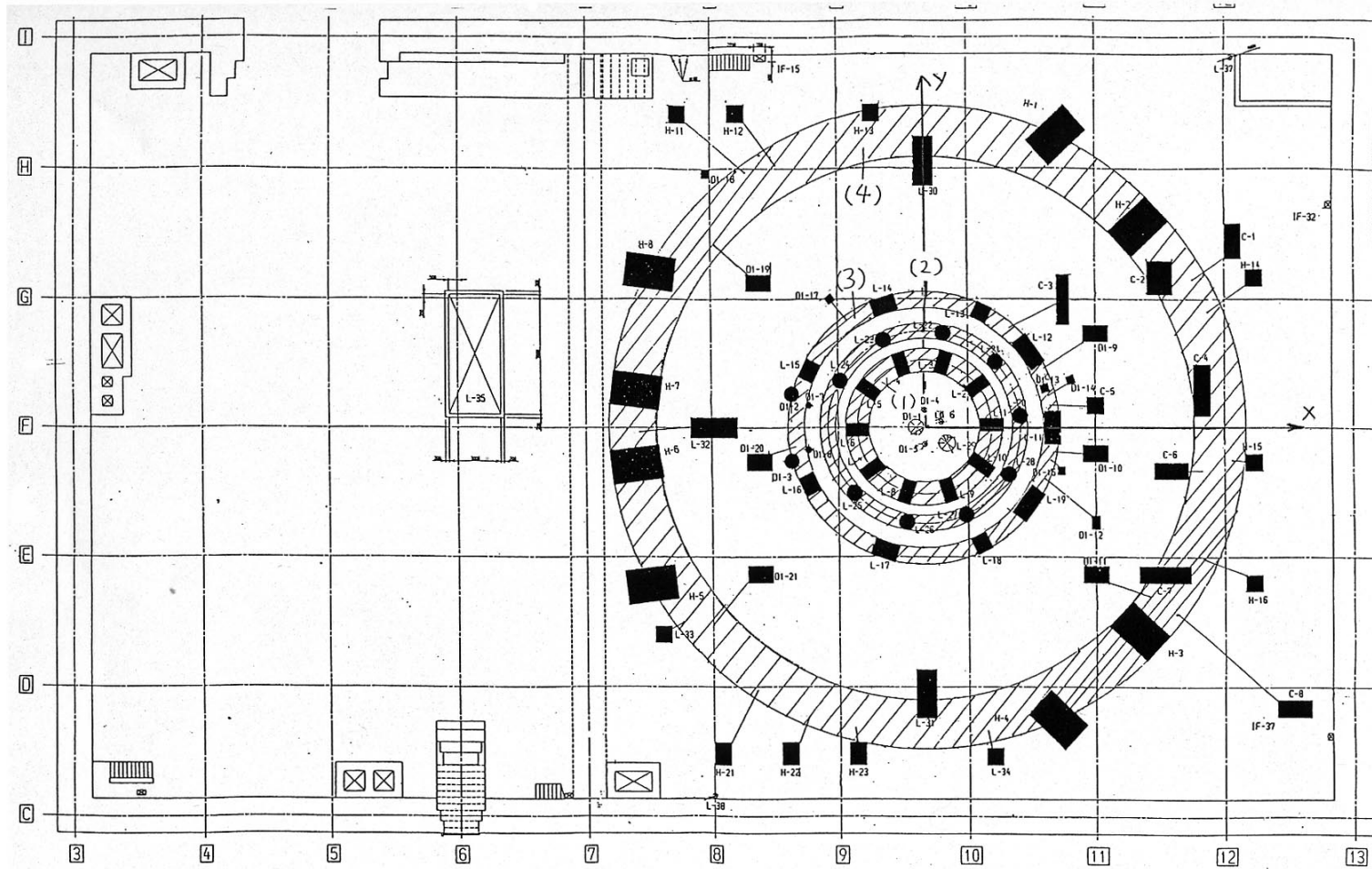
[管理基準]

管理区域は 1mSv/週

非管理区域は1.3mSv/3ヶ月

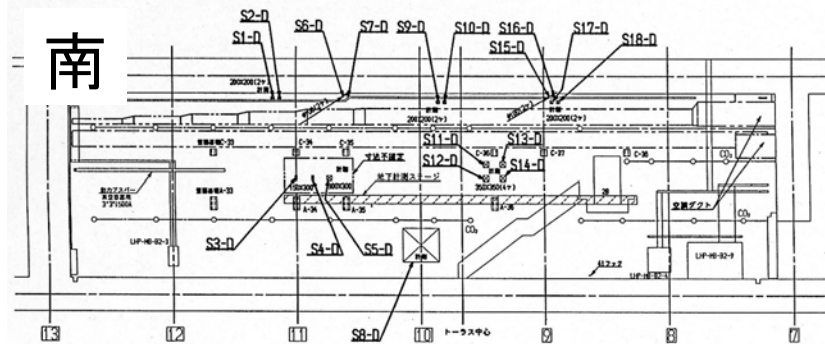
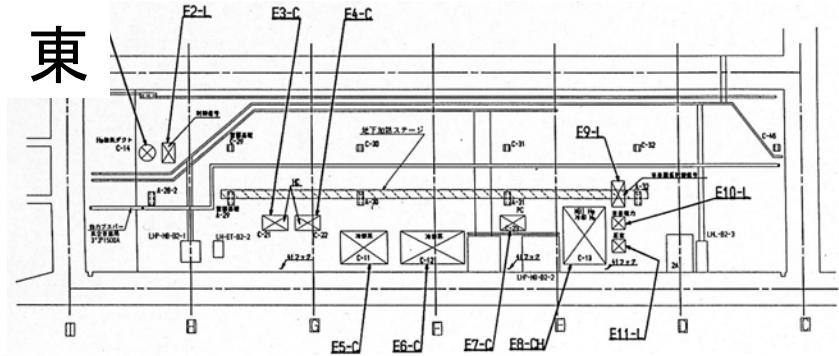
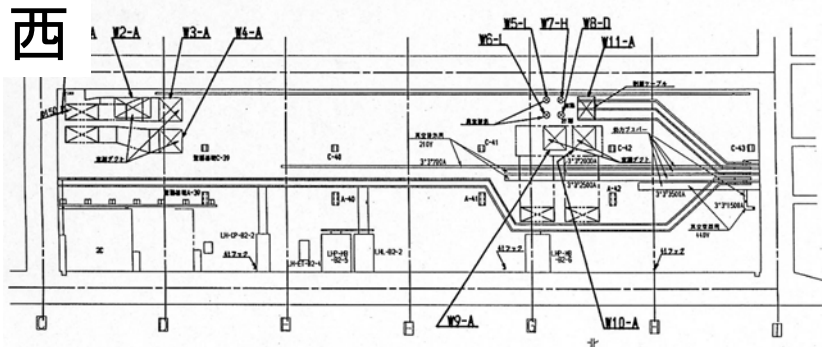
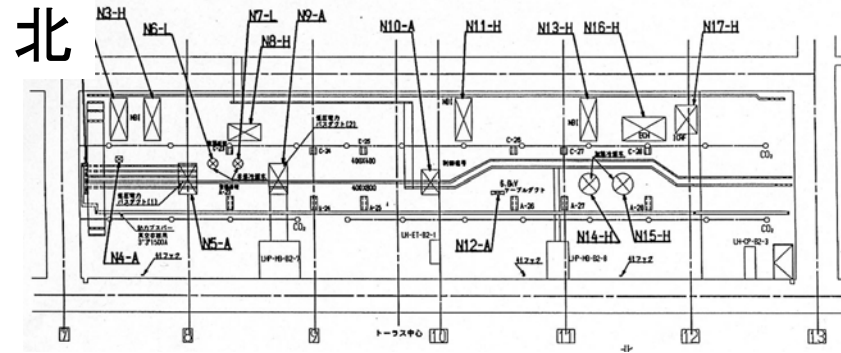


本体室床開口部





本体地下室壁貫通口





放射化への対策 放射化の解析条件

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) 5.7×10^{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。原子力施設から発生する廃棄物等に関しては、すでに法制化されている国もあるが、日本でも法制化に向けて議論が進められている。また、近年、大型加速器の廃止に伴う大量の低レベルの廃棄物に対しても検討が進められている。



主な放射化核種

ベルジャー(ステンレス鋼)

放射能濃度 (Bq/cm³)

核種	半減期	1 秒後	1 日後
Mn-54	312. 2 d	6. 6E-03	6. 5E-03
Mn-56	2. 58h	5. 8E+02	9. 1E-01
Fe-55	2. 73y	4. 6E-02	4. 6E-02
Fe-59	44. 5 d	3. 7E-02	3. 6E-02
Co-57	271. 8 d	1. 6E-03	1. 6E-03
Co-58	70. 92 d	6. 6E-02	7. 6E-02
Co-60	5. 27y	6. 0E-03	1. 5E-02
Co-58m	9. 15h	2. 2E+00	3. 6E-01

床コンクリート

放射能濃度 (Bq/cm³)

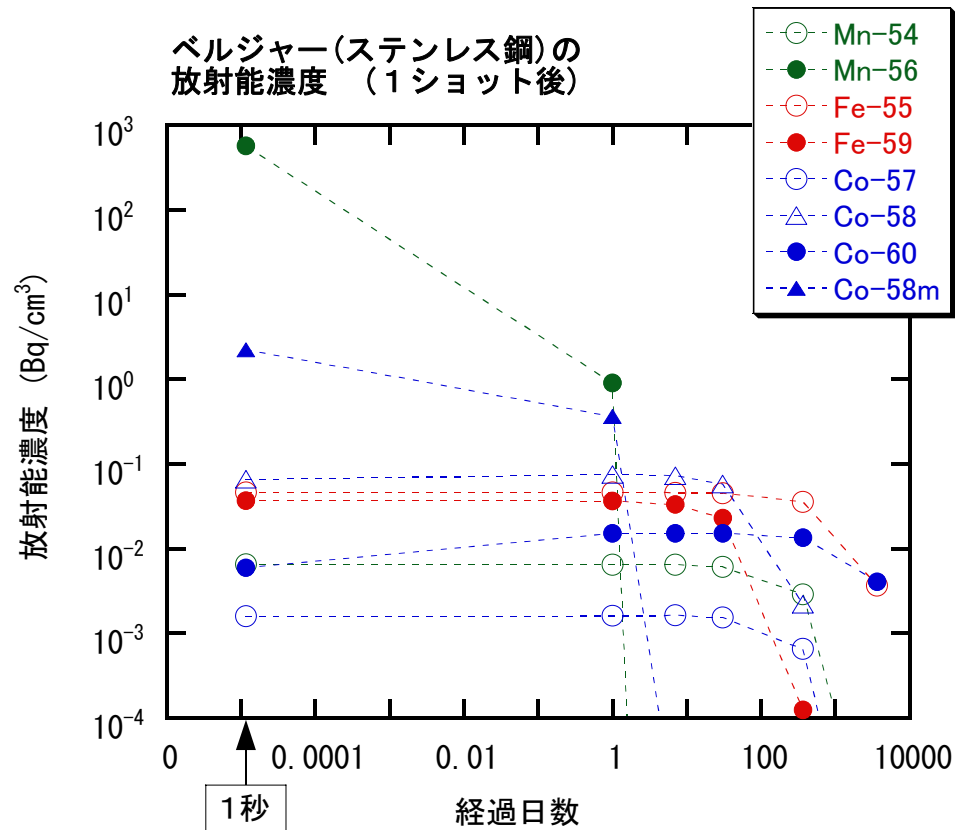
核種	半減期	1 秒後	1 日後
H-3	12. 3y	4. 1E-04	4. 1E-04
Na-24	15. 02h	9. 8E-01	3. 2E-01
Si-31	2. 622h	8. 2E-01	1. 4E-03
P-32	14. 26d	7. 1E-03	6. 7E-03
Ar-37	35. 04 d	1. 0E-03	1. 0E-03
K-42	12. 36h	1. 3E-01	3. 5E-02
Ca-45	164 d	1. 8E-03	1. 8E-03
Mn-56	2. 579h	3. 1E+00	4. 9E-03
Fe-55	2. 73y	3. 4E-04	3. 4E-04



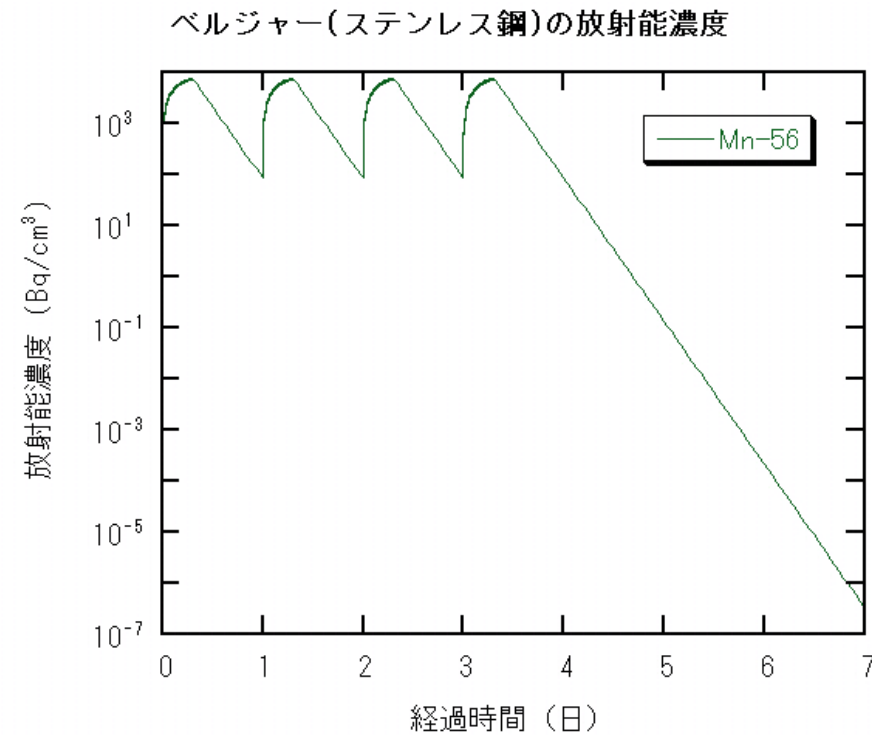
ベルジャー(ステンレス鋼)の放射化

1ショットの中性子発生量: 5.7×10^{16} 個

1ショット後のベルジャー(ステンレス鋼)の放射能濃度の変化



一週間の実験におけるベルジャー(ステンレス鋼)の放射能濃度の変化



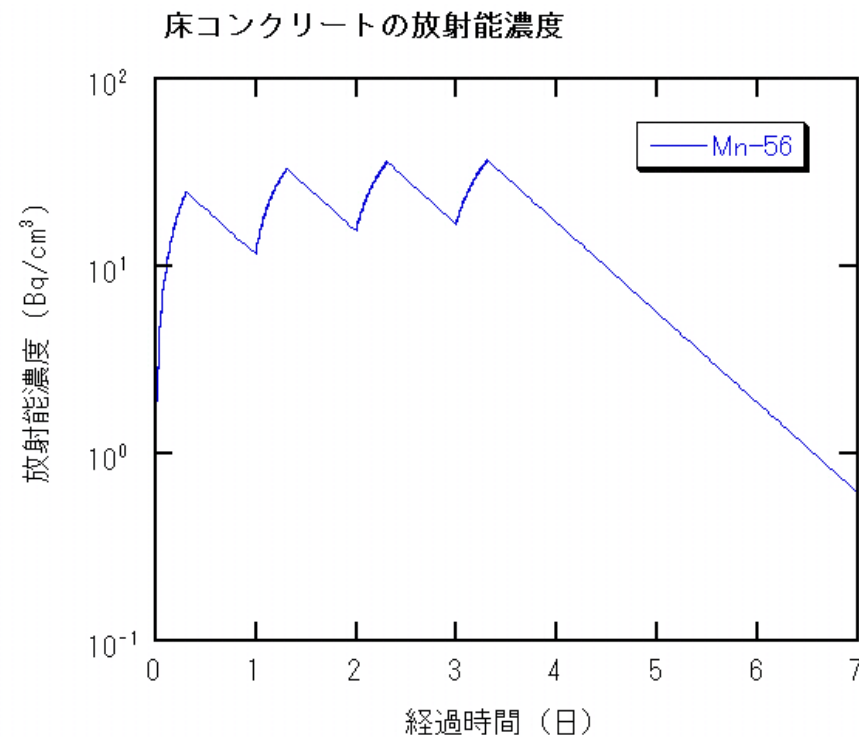
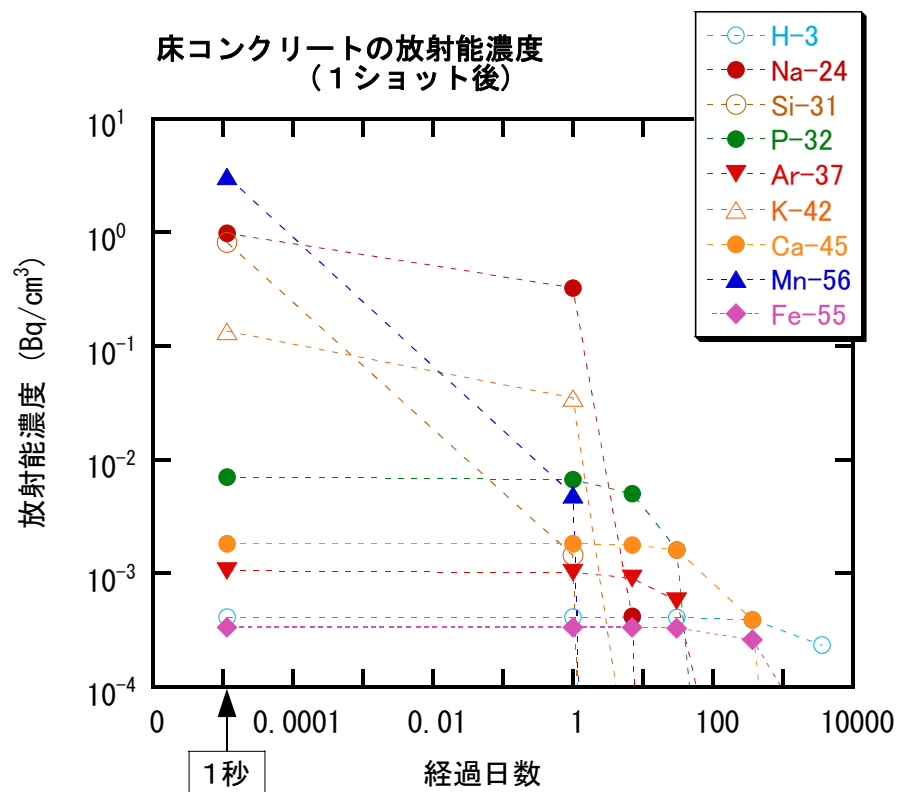


床コンクリートの放射能化

1ショットの中性子発生量: 5.7×10^{16} 個

1ショット後の床コンクリートの放射能濃度の変化

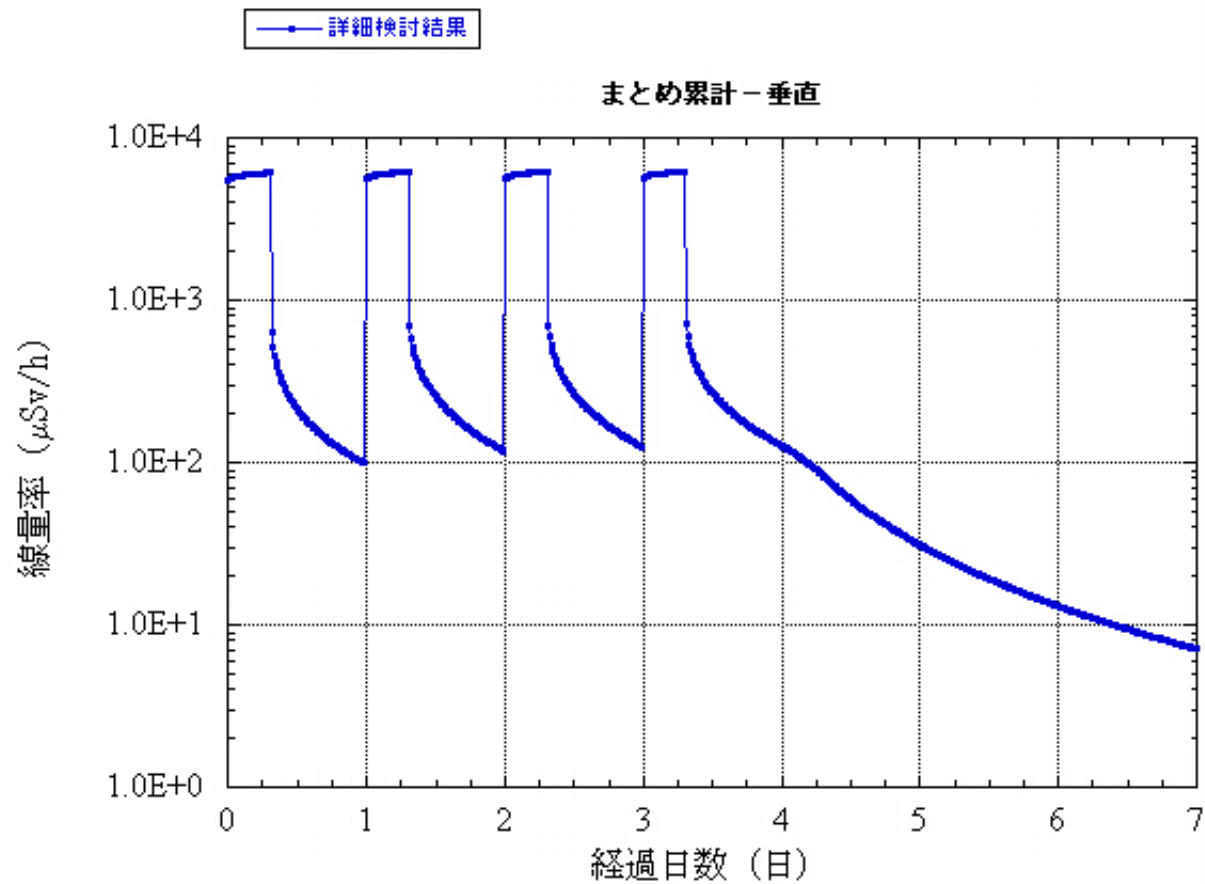
一週間の実験における床コンクリートの放射能濃度の変化





線量率の週間変化

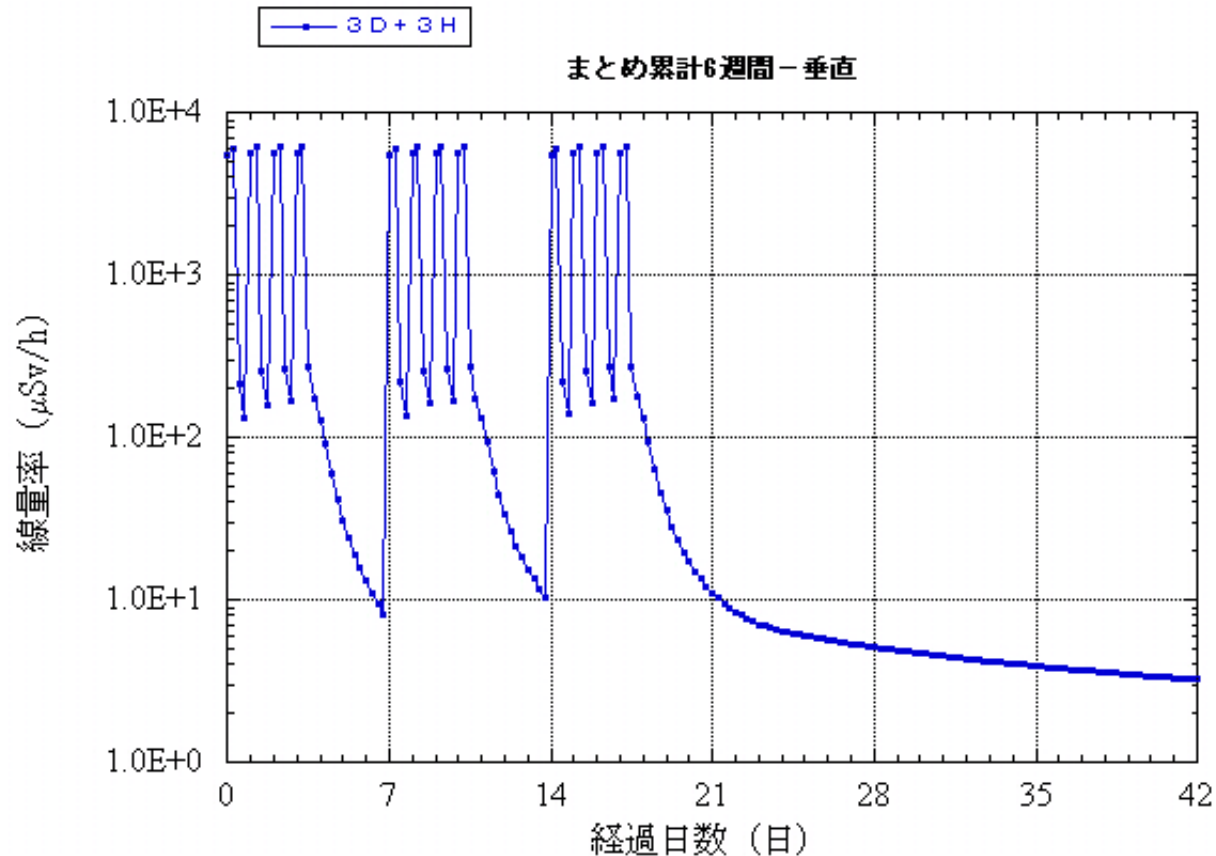
LHD本体直下のベルジャー底(線量として最も厳しい位置)
LHD本体とコンクリートの両方の放射化を考慮した量





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



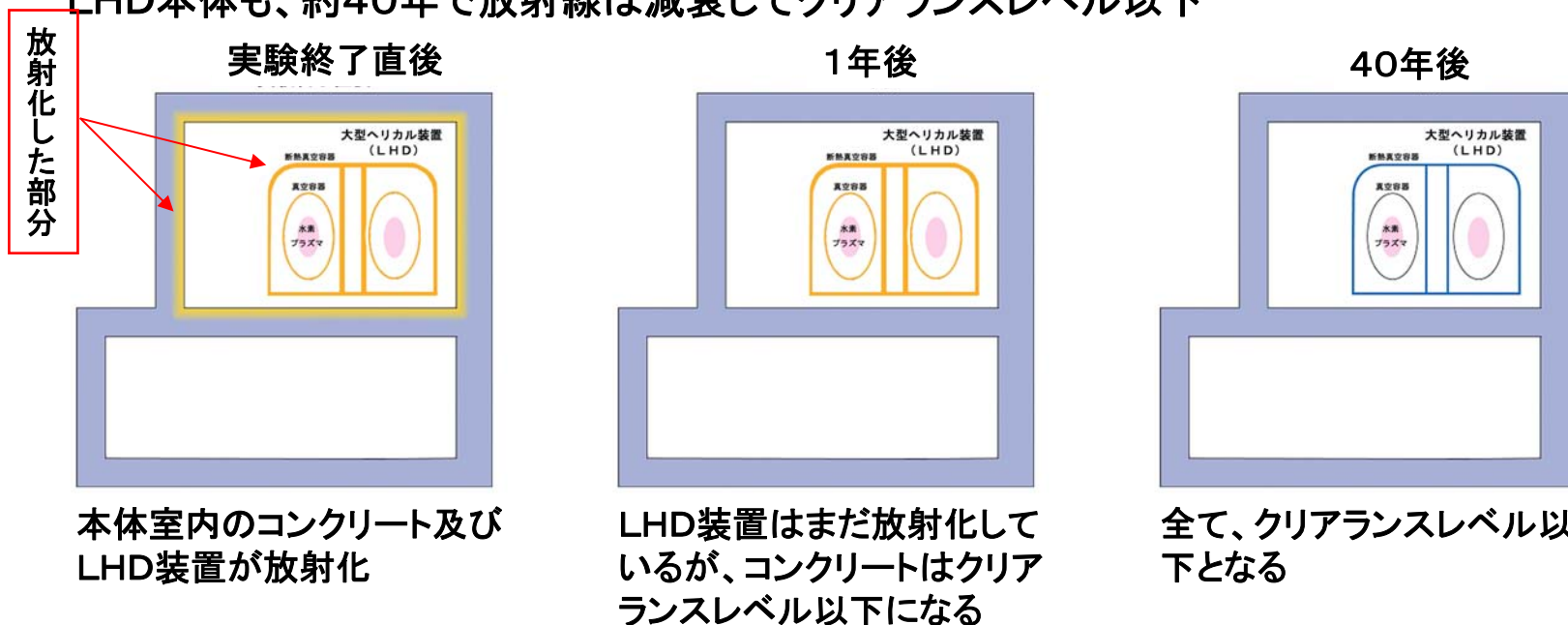
放射化したLHDとコンクリート

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



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。原子力施設から発生する廃棄物等に関しては、すでに法制化されている国もあるが、日本でも法制化に向けて議論が進められている。また、近年、大型加速器の廃止に伴う大量の低レベルの廃棄物に対しても検討が進められている。



空気の放射化対策 - アルゴン -

線源

$$n(2.45\text{MeV}) = 5.7 \times 10^{16} \text{ n/ショット}$$

$$n(14\text{MeV}) = 1.0 \times 10^{15} \text{ n/ショット}$$

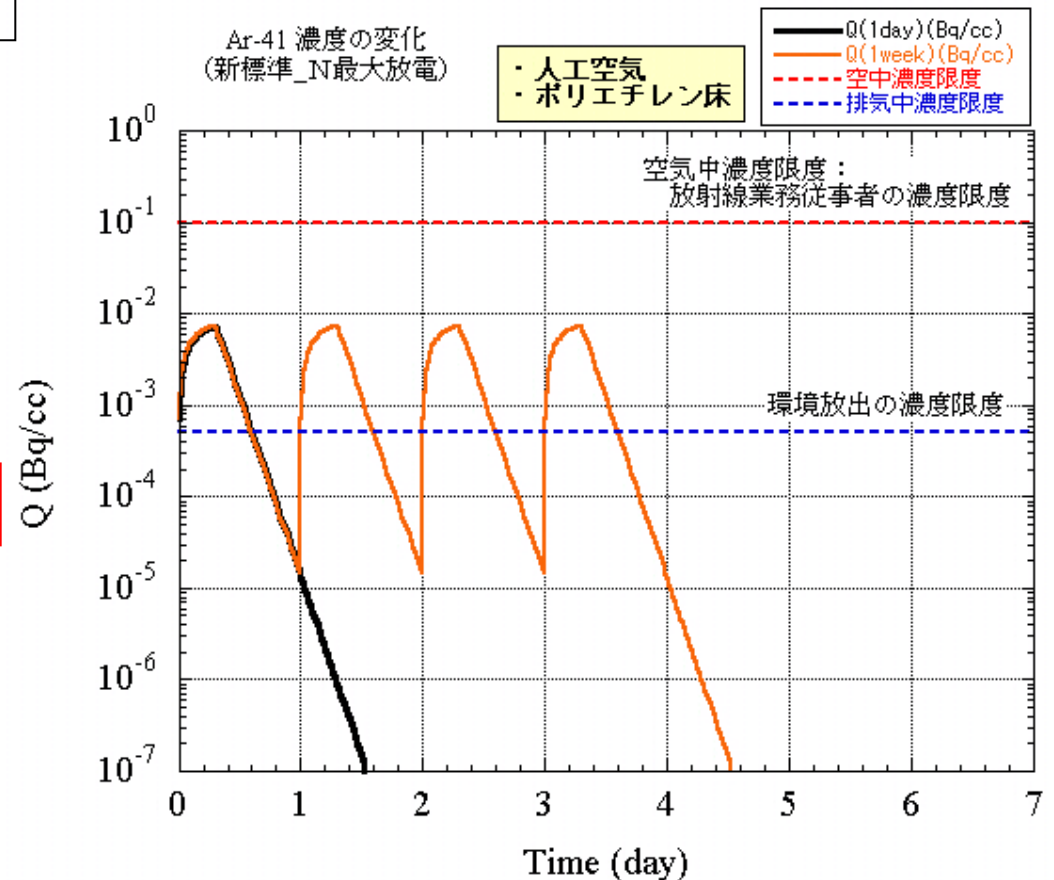


空気中に含まれる ^{14}N , ^{16}O , ^{40}Ar から放射性物質 ^{13}N , ^{16}N , ^{41}Ar の生成反応;

^{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.)

^{41}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

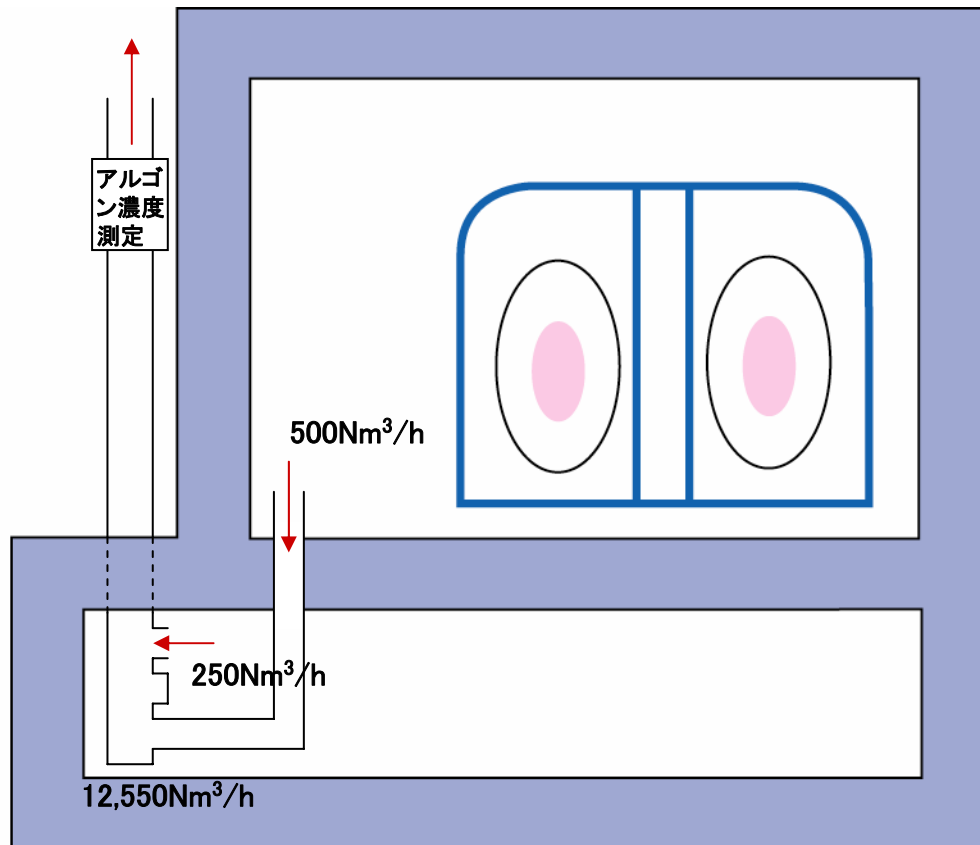




放射化されたアルゴンの管理

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



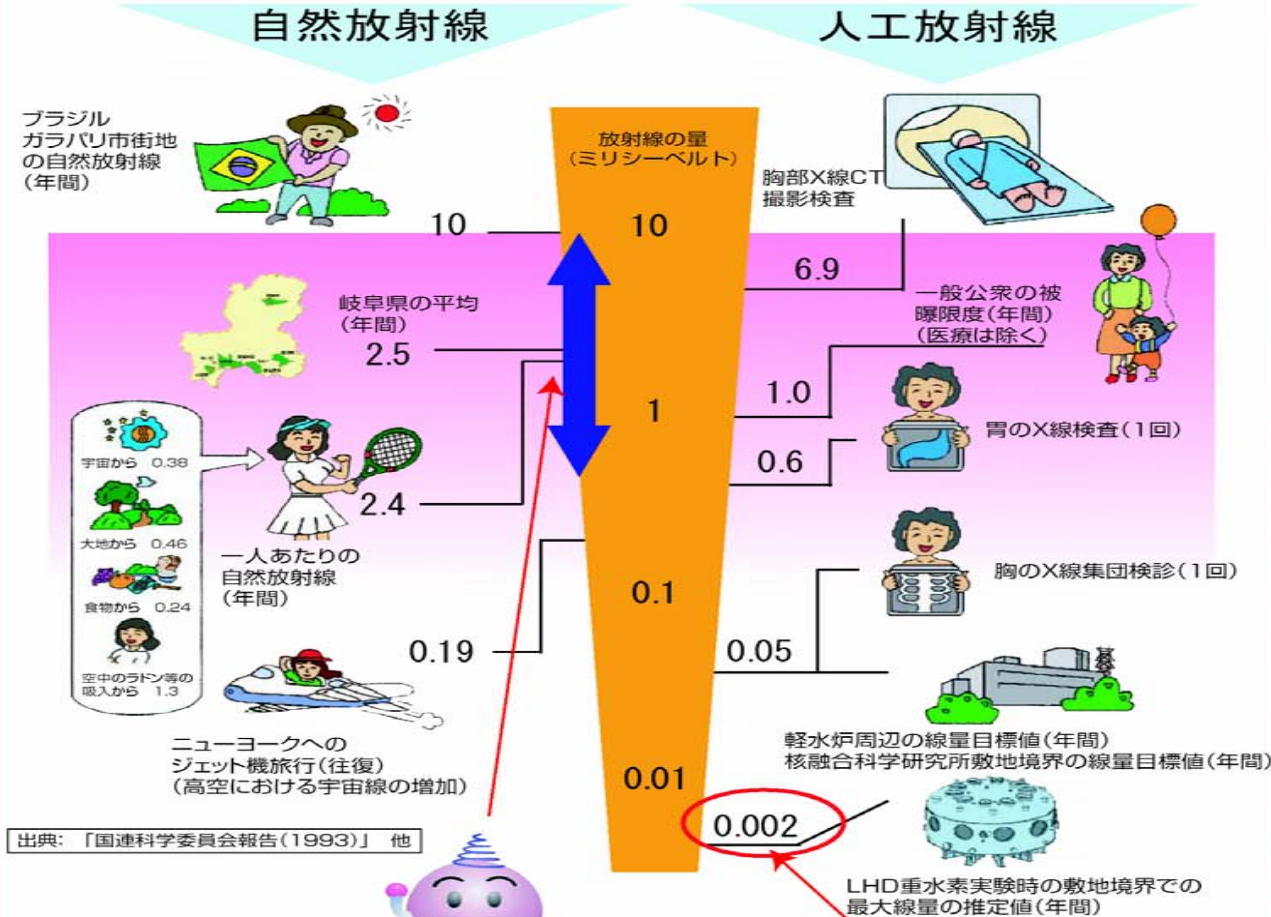
放射化物が少し放出される
(放射化物の管理された放出)



負圧のため、管理された空気以外
は放出されない

(空調機の改造により対応)

生活環境にある多くの放射線の影響



出典: 「国連科学委員会報告 (1993)」 他

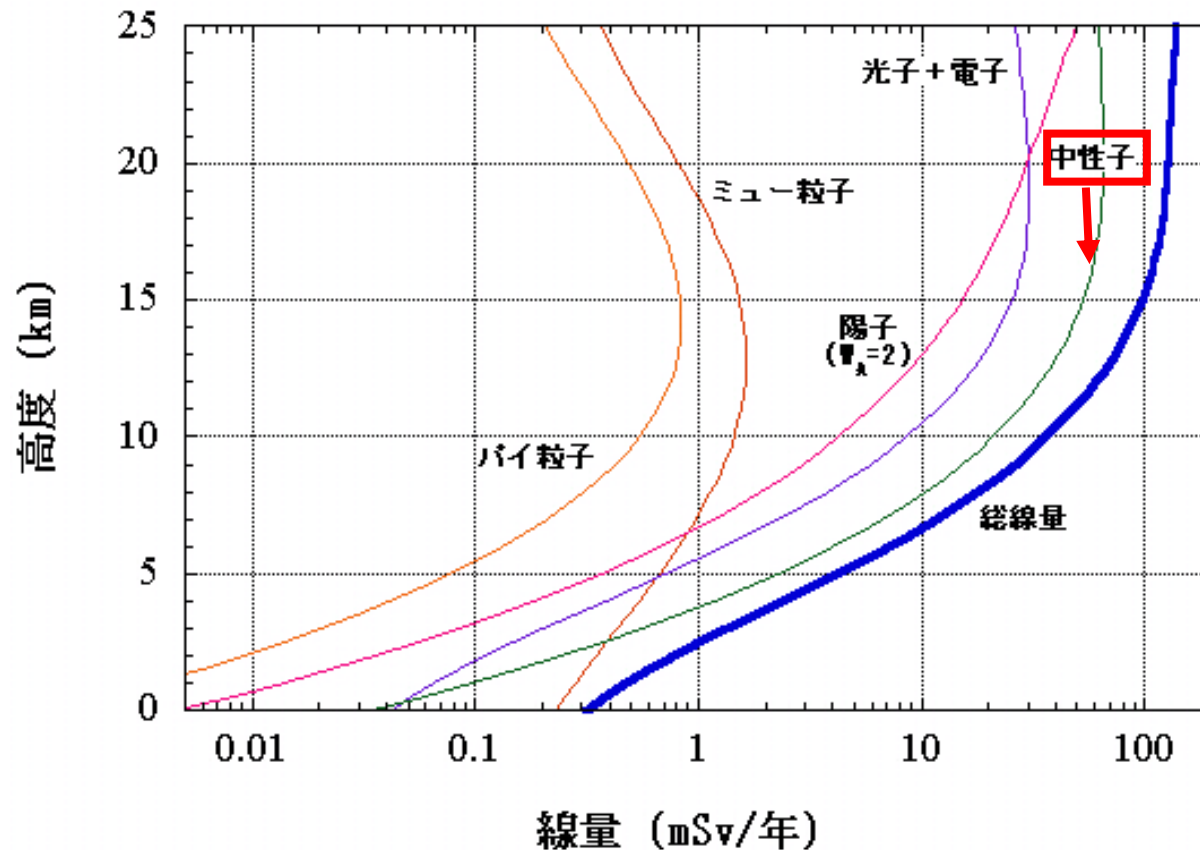
自然放射線は、地域や天候によって、このくらい大きく変わります。ここでは一年間に浴びる量を示しています。

LHDは2mのコンクリートの壁の部屋の中にあるので、重水素実験を行っても、研究所から外に出る放射線の量は自然放射線の1%以下と安全です。



宇宙からの中性子線の影響はLHDの10倍(敷地境界)

中性子は、地上で年間 約0.035ミリシーベルトの線量となっており、LHDの重水素実験による敷地境界での中性子線量(0.002ミリシーベルト)よりも10倍以上高い値となる。



宇宙放射線の実効線量の高度分布例
(放射線医学総合研究所のホームページより)



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 アルゴン41

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}

法定濃度限度 (障防法に基づく)

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

放射線量全体

敷地境界放射線量 (μ Sv/年)

50

1,000
