

資料 第6-3号
ITER計画懇談会
平成9年8月1日
第6回会合

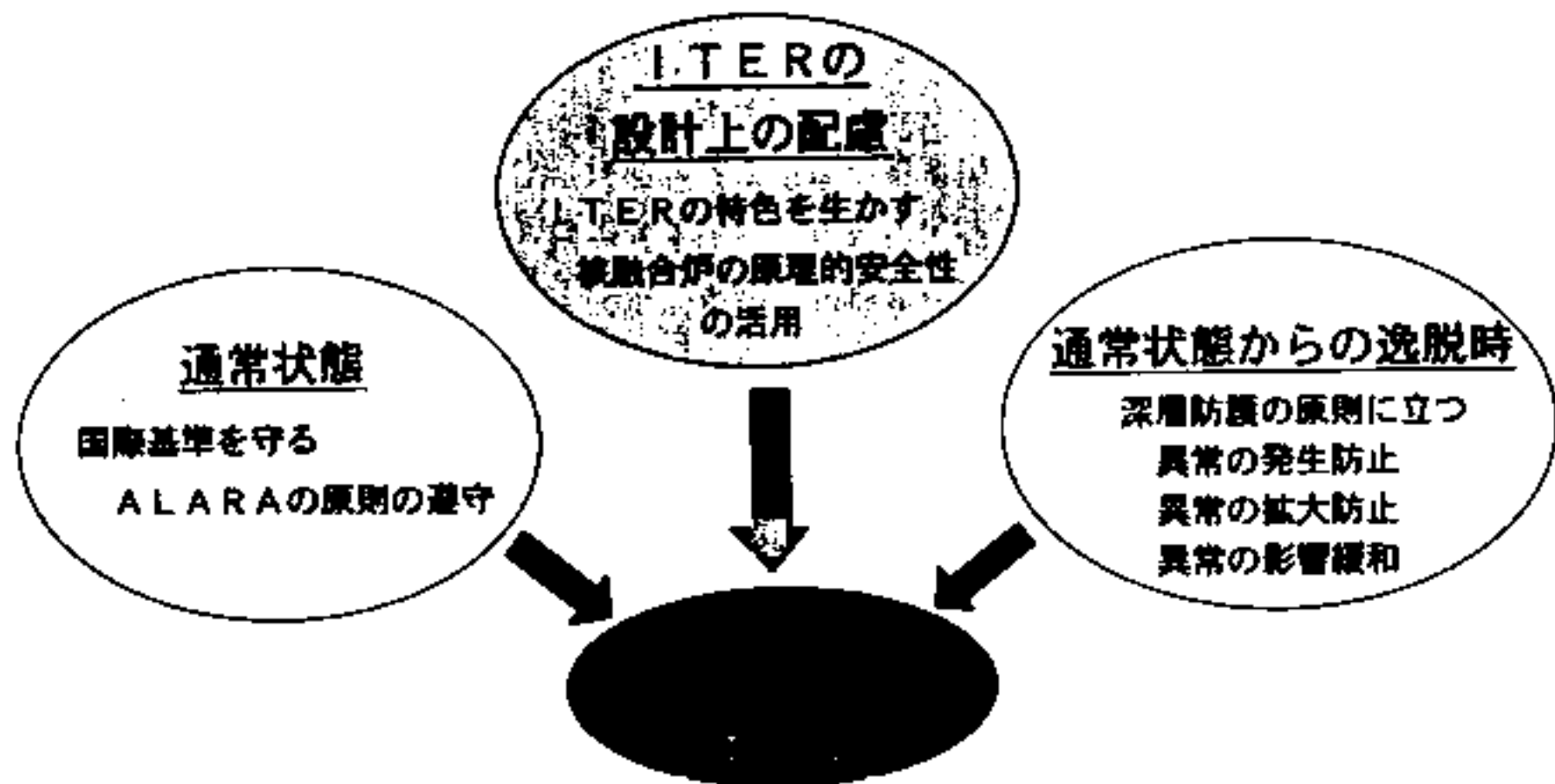
ITERの安全性について

日本原子力研究所
鹿園 直基

ITERの安全の確保

- ・ ITERの安全確保に係る基本方針
- ・ 核融合炉の特徴
- ・ ITERの安全の確保

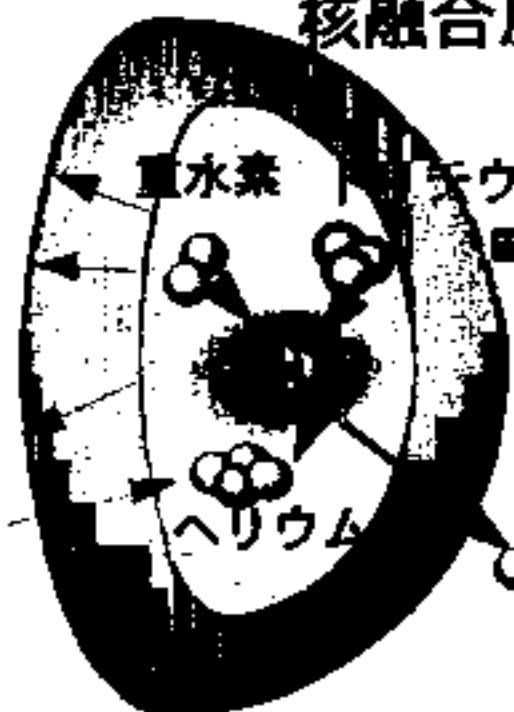
ITERの安全確保に係る基本方針



- ・ 国際基準 : 国際放射線防護委員会 (ICRP) による放射線防護の基準。
- ・ ALARA (As Low As Reasonably Achievable) :
周辺公衆の被ばく線量を合理的に達成できる限り低くする。

核融合炉の特徴

核融合反応



・核融合燃料
重水素
トリチウム

放射性物質が分散
して広範囲に存在

「閉じ込め」が重要

（過剰な反応）

（性能悪化）

（不純物の混入）

（プラズマ消滅）

（反応停止）

・反応生成物は
中性子とヘリウム
・中性子による
放射化物

崩壊熱が小さい

「冷やす」ことは容易

・プラズマ性能が良好なとき初めて
燃焼する。
→燃え過ぎると性能が悪化
して反応が止まる。

「止める」ことは容易
（暴走しない）

ITERの安全の確保

安全の確保

放射性物質の閉じ込めの確保
放射線被ばくの低減

安全設計

- ・機器やシステムの健全性が確保されているか
- ・異常の発生を防止する工学技術が確立されているか

安全評価

- ・安全評価技術は確立されているか
- ・異常時における放射性物質の漏洩評価や影響評価の結果は許容できる範囲内か

判断基準となる規格・基準や指針類の整備

安全設計

通常状態

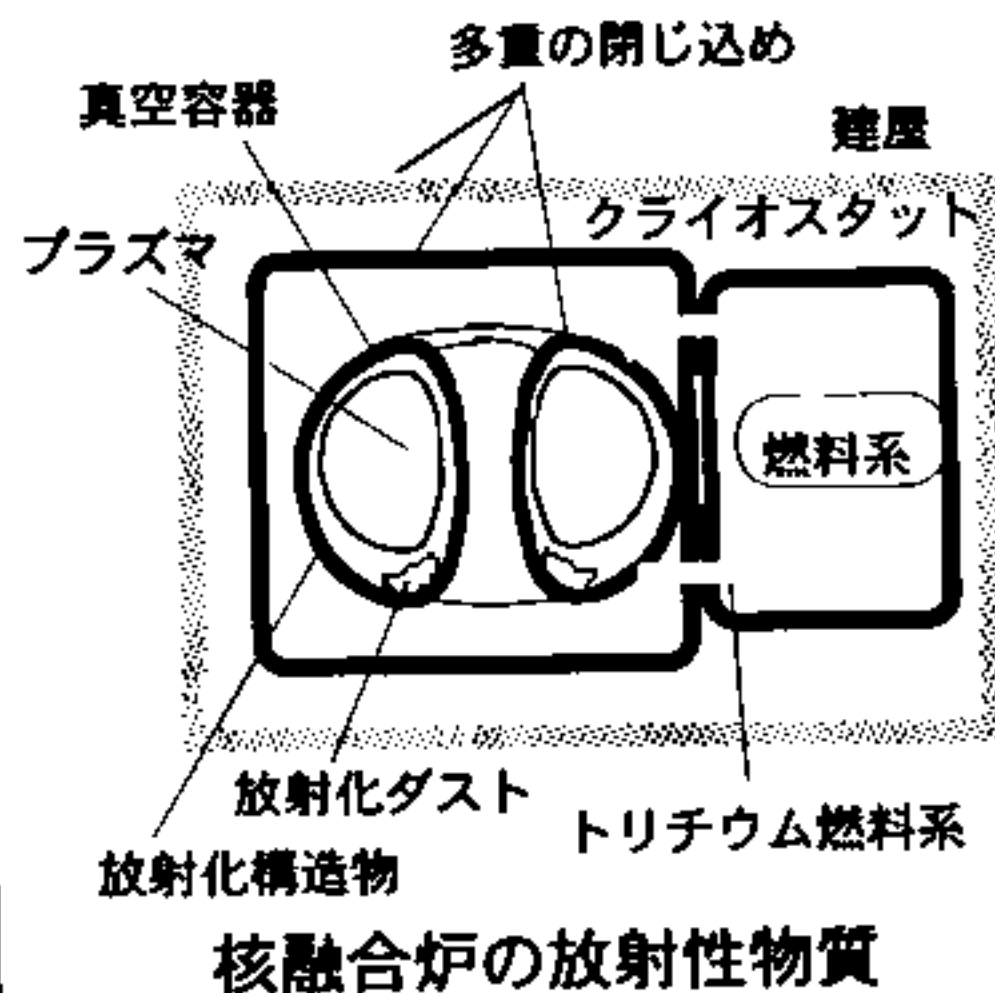
- ・ 放射性物質の閉じ込め
- ・ 磁場の影響
- ・ 放射線の遮へい

通常状態からの逸脱

- ・ トリチウムの閉じ込めと処理
- ・ 電磁エネルギーに対する考慮
- ・ ディスラプションに対する考慮
- ・ 地震に対する考慮

放射性物質の閉じ込め

- ・ 主要な放射性物質は燃料であるトリチウムと放射化物。

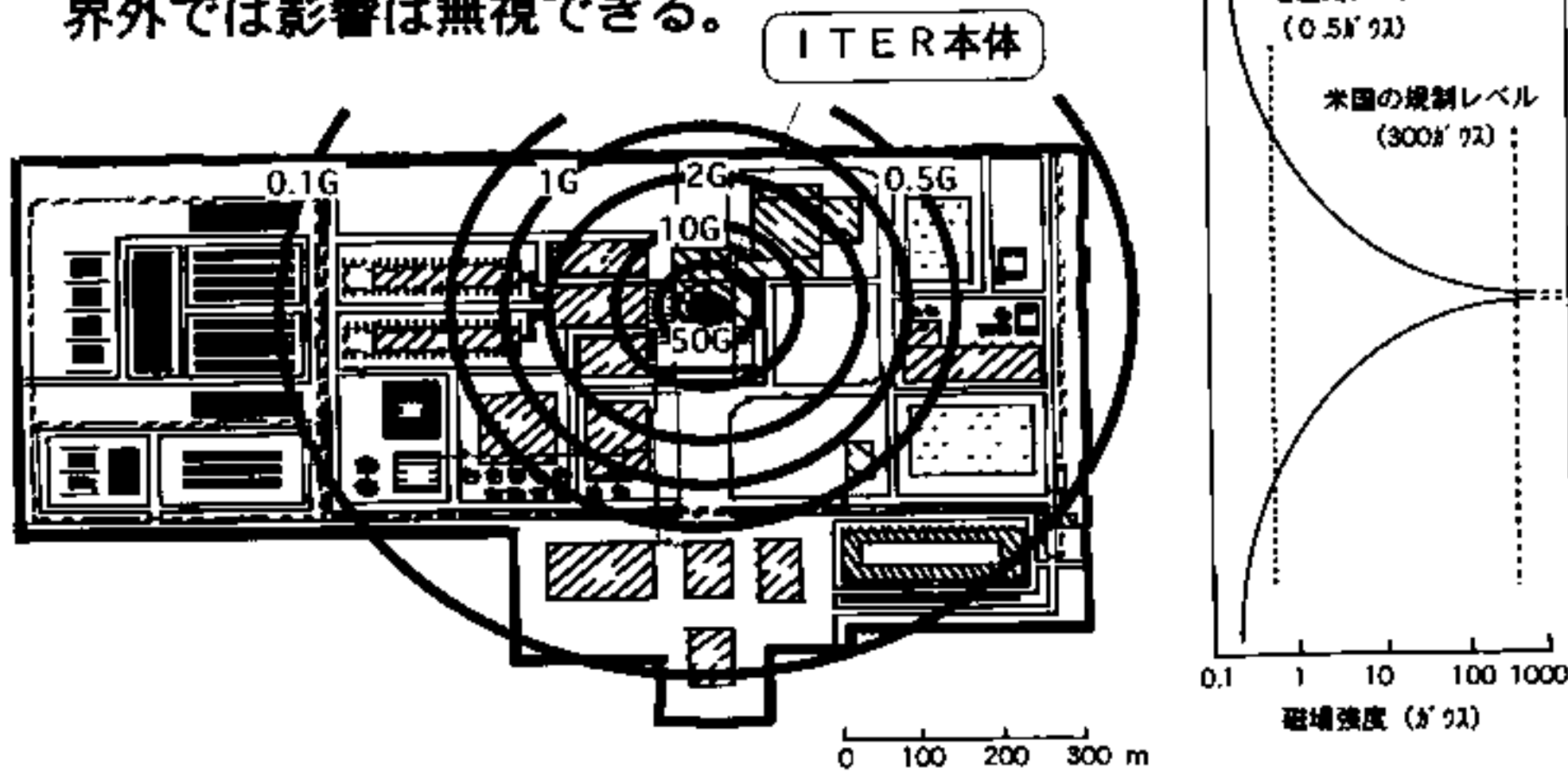


トリチウム (T)

ヘリウム3
トリチウム
β線
半減期12.3年
水素に類似
気体(透過漏洩しやすい)
放射線は弱い(紙1枚で防げる)
トリチウム水として取り込まれると生体に影響

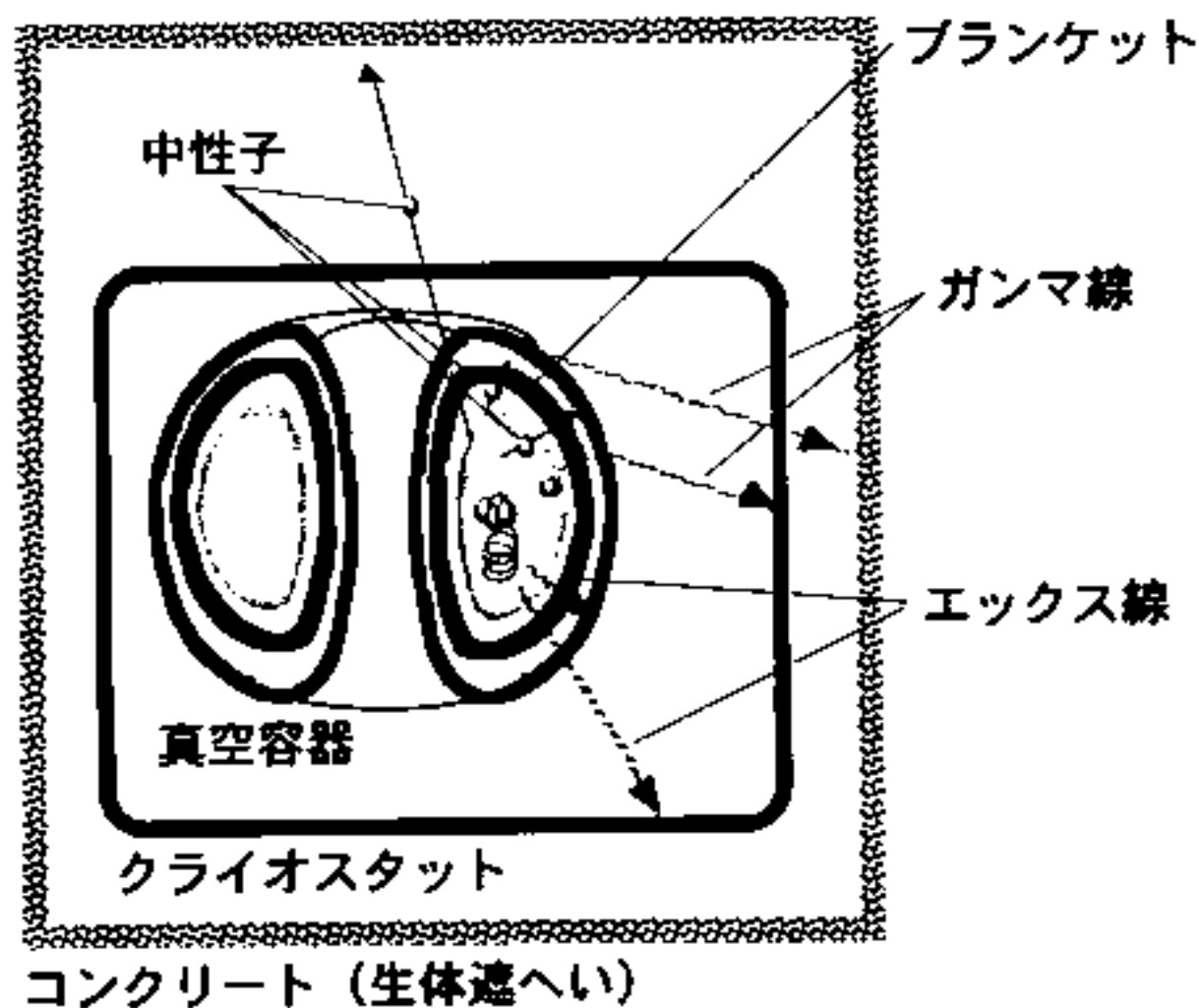
磁場の影響

- ・ 核融合炉では超伝導磁石が強力な磁場を発生する。
- ・ 磁場は300mで地磁気程度(0.5ガウス)になるため敷地境界外では影響は無視できる。



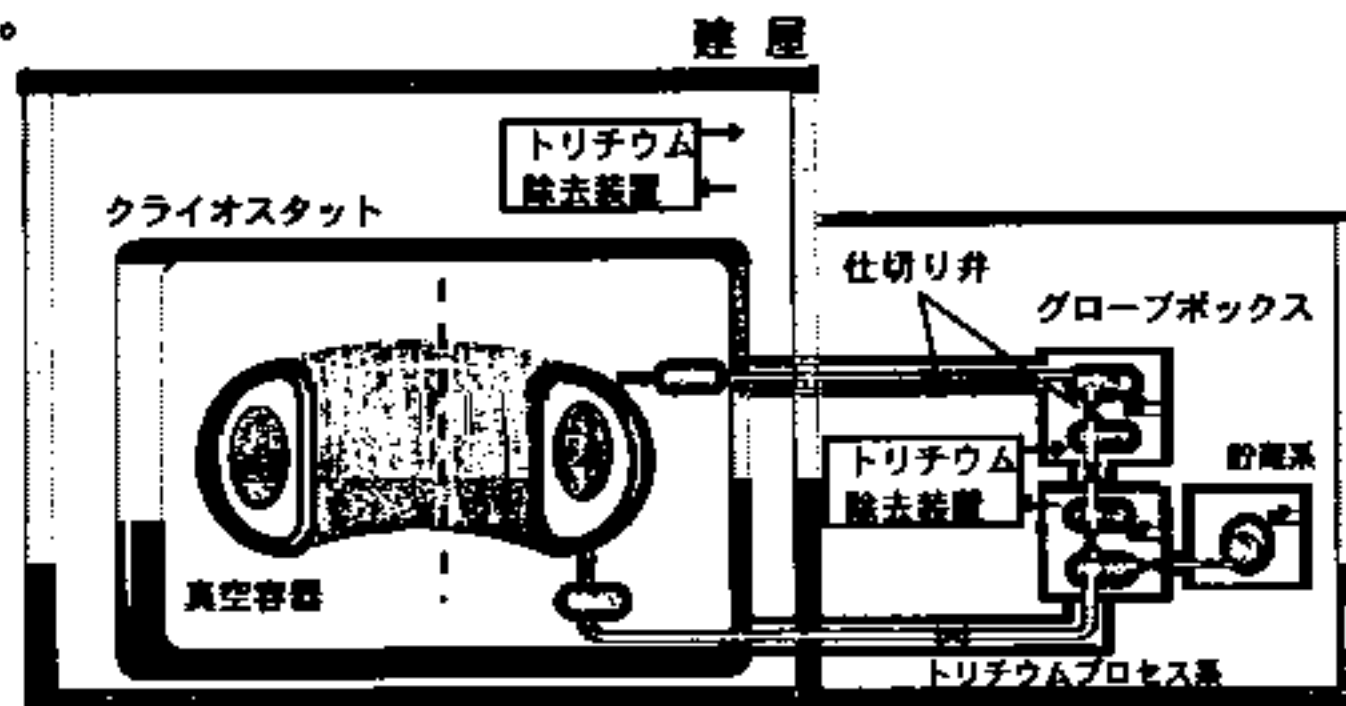
放射線の遮へい

- ・核融合反応では α 粒子と高速中性子が発生する。
- ・中性子はブランケットで大部分を遮へい、さらに、コンクリートにより遮へい。
- ・他にエックス線やガンマ線などの放射線が出るがクライオスタットやコンクリートにより遮へい。



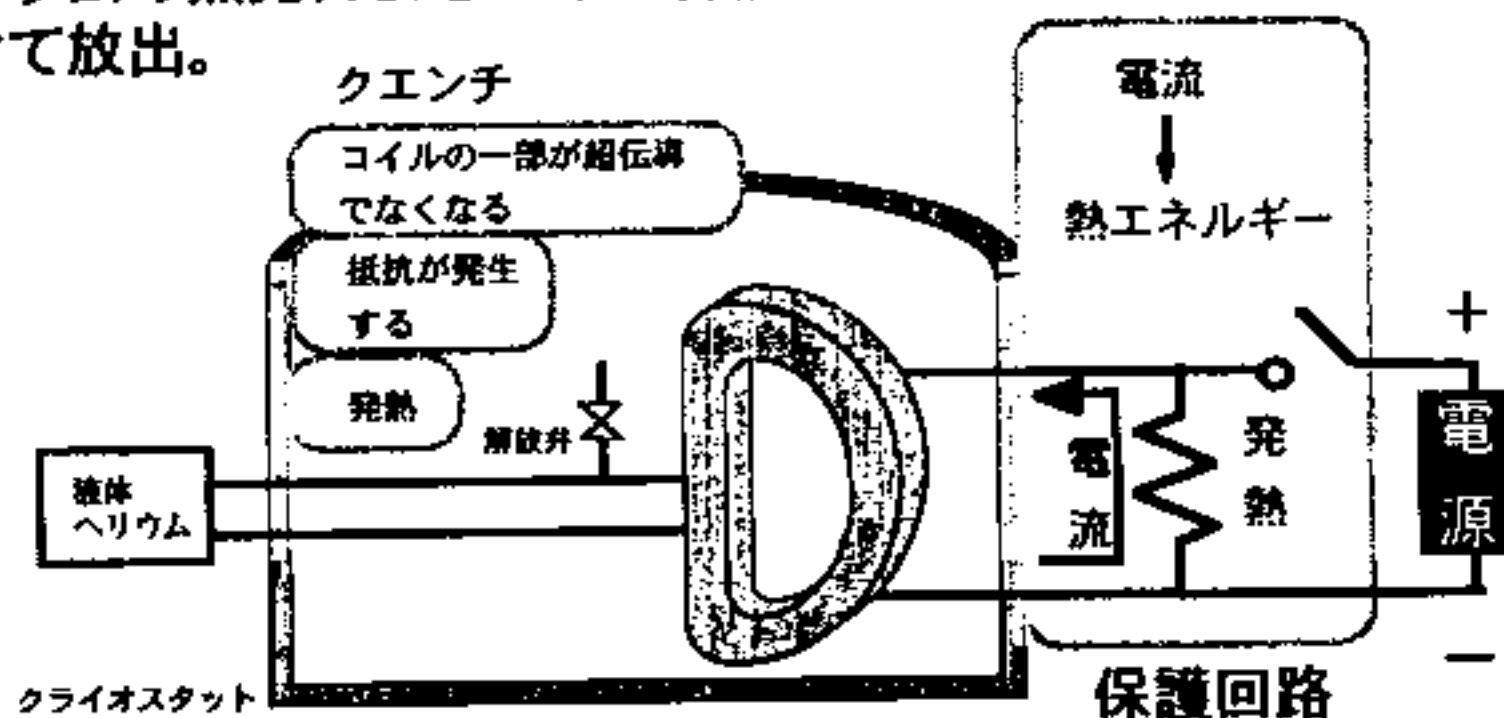
トリチウムの閉じ込めと処理

- ・ トリチウムは3重に閉じ込めている。
 - 1次閉じ込め系：真空容器、トリチウムプロセス系機器等
 - 2次閉じ込め系：クライオスタット、グローブボックス等
 - 3次閉じ込め系：建屋
- ・ 2次及び3次閉じ込め系にはそれぞれトリチウム除去装置を設け、トリチウム漏洩時には回収する。
- ・ 異常時の放出量低減を図るためトリチウムプロセス系に仕切り弁を設ける。



電磁エネルギーに対する考慮

- ・クエンチ時にはコイルの発熱を防止するため蓄積されたエネルギーを保護回路で熱として安全に放出。
- ・液化ヘリウムの蒸発によるコイル容器内の圧力上昇に対しては開放弁を設けて放出。



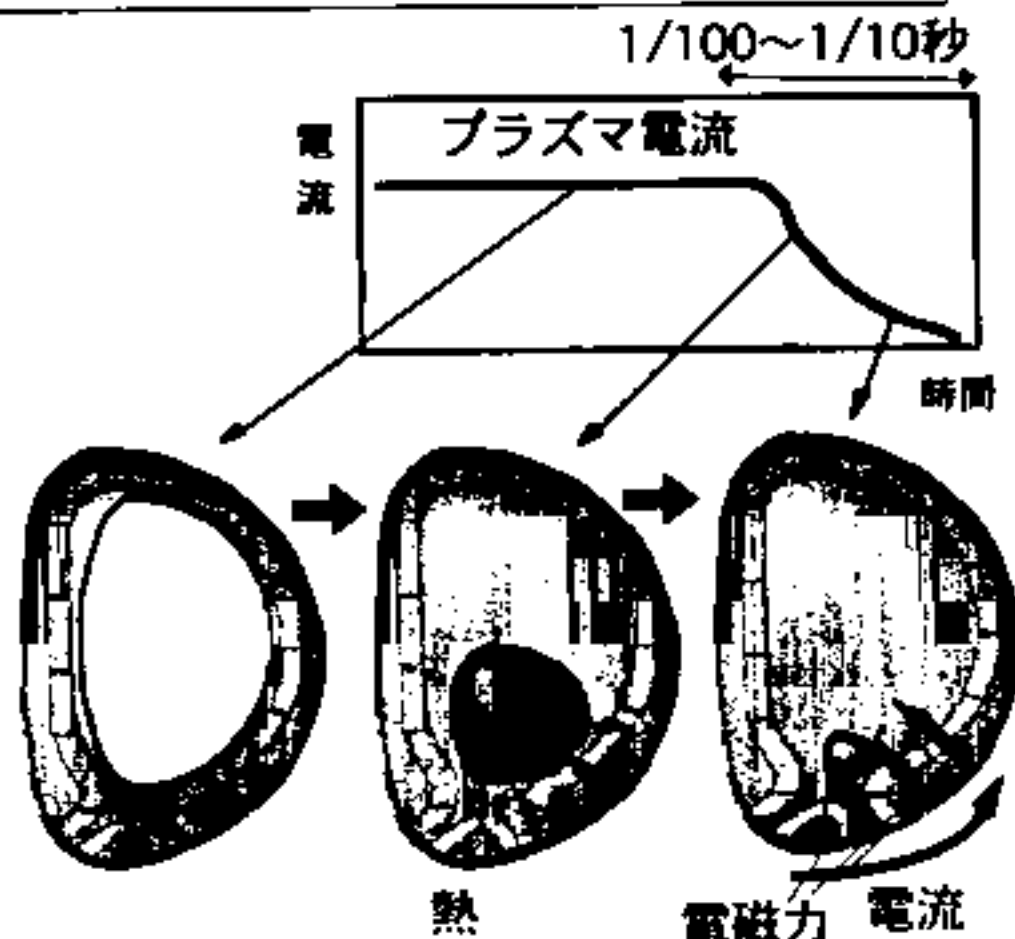
- ・何らかの原因でコイルが破損しても真空容器への影響はない。

(注) クエンチ：超伝導磁石が超伝導状態から常伝導状態に転移する現象

ディスラプションに対する考慮

ディスラプション（電流消滅現象）：プラズマが不安定になり、電流が急激に減少して放電が終了する現象。

- ・ プラズマの熱エネルギーが直接壁に伝わる
↓
プラズマ対向壁の損耗を考慮
- ・ 壁に誘起される電流による電磁力が加わる
↓
電磁力に耐える構造

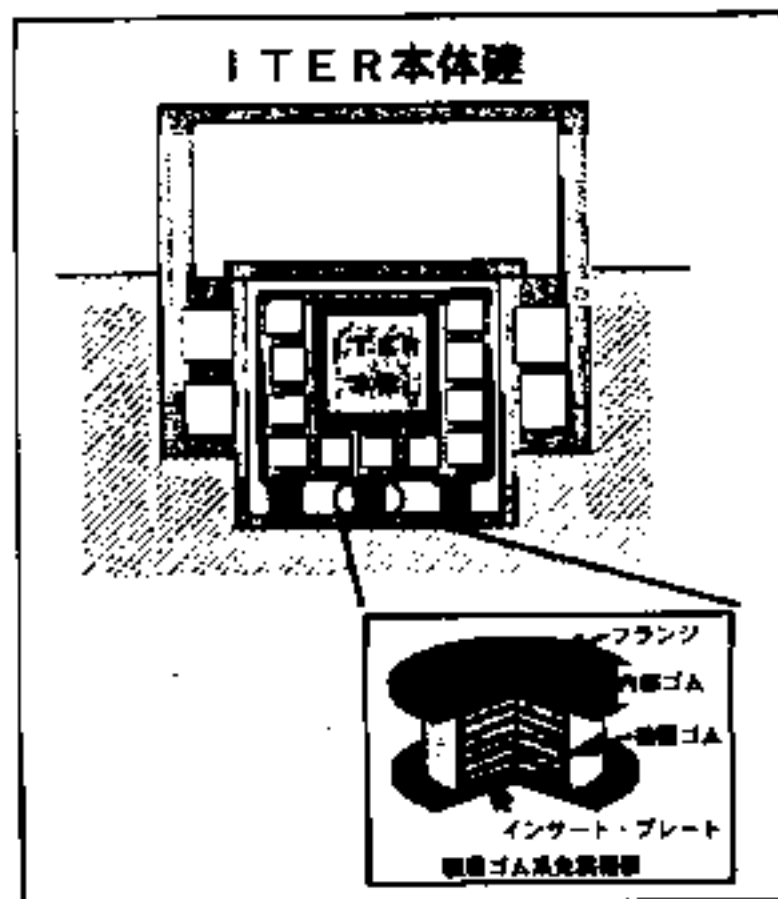


ITERでは最初の10年間に3000回程度起きても対向壁が健全であるように設計される。

地震に対する考慮

- ・ 標準設計(I T E R / E D A)では、 $0.2g$ の地震加速度に耐えるように設計
- ・ わが国に I T E R を建設
↓
 $0.2g$ を超える地震加速度考慮
- ・ $0.2g$ を超える地震加速度
↓
免震の採用により地震荷重を吸収
- ・ 免震を採用した建築物に種々の実績（一般建築100件以上）
- ・ 免震要素の特性試験、免震構造の実証試験等を実施
↓
実証データを取得

I T E R 免震構造の概念



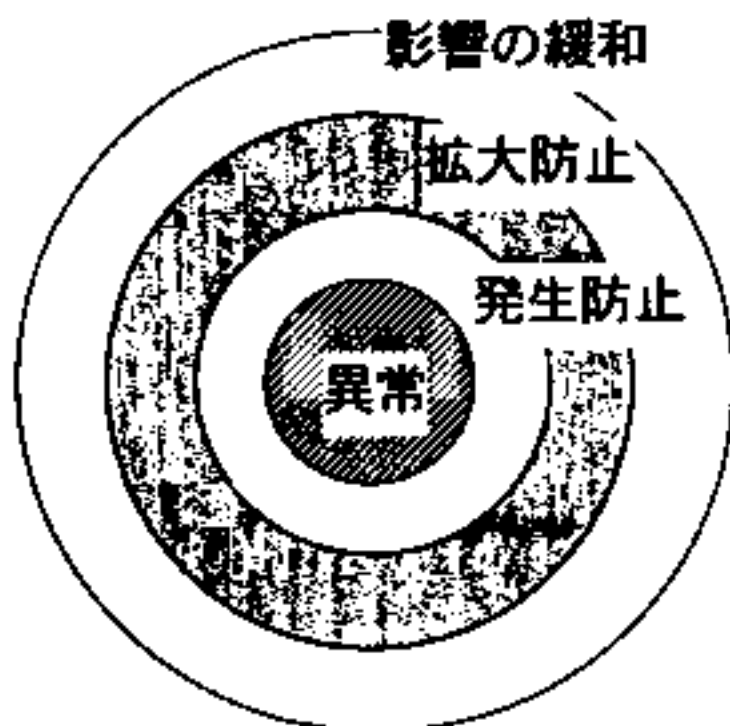
安全評価

- ・ 安全確保の方法
- ・ トリチウムの保有量
- ・ 通常時の放射性物質の放出量の評価
- ・ 異常事象の評価
- ・ 異常時の放射性物質（トリチウム）の
放出量の評価

安全確保の方法

通常状態からの逸脱に対しては、“深層防護”の原則に立ち、

- ・ 異常の発生防止に努める。
- ・ 例え異常が発生してもその拡大防止に努める。
- ・ 万一異常が拡大してもその影響の緩和に努める。

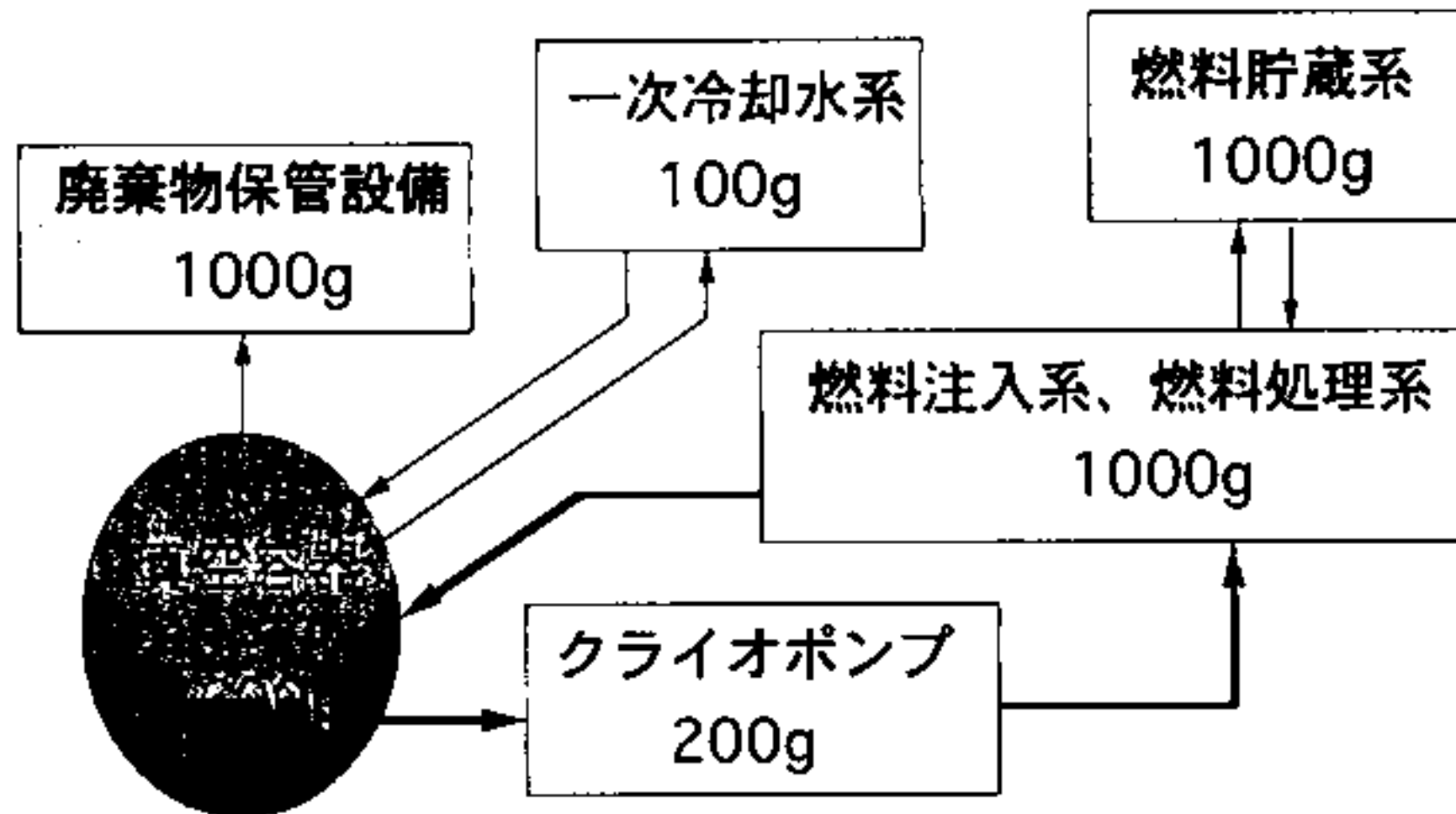


深層防護の例

トリチウム燃料用配管の異常

- 発生防止** : 配管の温度、圧力等を計測して、配管に過大な応力がかからないようにする。
- 拡大防止** : 配管を二重構造にするとともに、破断部からの放出量を限定するために仕切弁を設ける。
- 影響の緩和** : トリチウムの施設外への放出量を低く抑えるため、トリチウム浄化系を設けてトリチウムを回収する。

トリチウムの保有量



* ITER全体での保有量は4000g以下
(各系統は同時に最大値を保有しない)

- ・ その他の移動性の放射性物質の量
真空容器内に放射化ダスト（カーボン、ベリリウムなど） 100kg以下

通常時の放射性物質の放出量の評価

ICRPによる被ばく線量の限度
(1mSv/年)



被ばく線量の
自主基準
(0.1mSv/年)



放出量の
自主基準

	放出量自主基準	放出量の評価値
トリチウム	1g-T/年	約0.3g-T/年
放射化金属ダスト	0.5g/年	0.4g/年以下
放射化金属腐食生成物	5g/年	約1g/年

異常事象の評価

I T E R 工学設計活動の中で実施されており、詳細は非サイト依存安全性評価書-1 (NSSR-1: Non-site Specific Safety Report 1) にまとめられている。

起因事象

配管破断

弁動作不良

ポンプ停止

⋮

操作不良

電源異常

考え得るすべての系統についてもれなく同定。

- ・ 事象進展の検討
- ・ 包絡性の検討

代表事象

冷却材流量低下(喪失)

トリチウム系の異常

⋮

プラズマの異常

11種類の異常について合計25の事象を選出。

- ・ 安全解析を実施

評価・検討

解析により得られた環境中への放射性物質放出量は、いずれの場合も放出量自主基準を満足している。

異常時の放射性物質(トリチウム)の放出量の評価

安全解析における：10g（事象）

最大放出量

トリチウム
を含む排気



約1mSv/年

拡散

スタック

希釈

フェンス

敷地
境界外

トリチウム除去装置

二次閉込め
からの漏洩

一次閉込め
からの漏洩

燃料池

本体建屋

異常時におけるトリチウム放出量の自主基準の最大値である100gが環境に放出されたと仮定して行われた被ばく線量についての解析結果は、我が国の安全規制上の基準である5mSvを下回る

ま と め

- (1) 核融合炉は原理的に高い安全性を持っている。
- (2) 核融合炉の安全性で特に重要なのは閉じ込め機能である。
- (3) ITERに特有の安全問題については、技術的に対処が可能である。
- (4) ITERの安全解析によると、安全が十分確保されていることが確認されている。
- (5) ITER参加各極は、詳細設計報告書のレビュー行って、ITERの工学設計活動が基本方針に則って実施されていることを確認している。

参考資料

異常事象の分類

I T E R の非サイト依存安全解析書 (N S S R - 1) では、設計基準の範囲について次の各種の異常 (11種類、25事象) が検討されている。

	カテゴリー		
	II	III	IV
プラズマの異常	○	○	
電源の喪失	○		○
真空容器内への冷却材漏洩 (流入)	○	○	○ ○
真空容器外での冷却材漏洩 (流出)	○	○	○
熱交換器の冷却材漏洩 (流出)	○	○	
冷却材流量低下 (喪失)	○	○	
真空喪失			○
保守時の異常	○		○
クライオスタット内の異常	○		○ ○
トリチウム系の異常		○	○
マグネット系の異常		○	○

参考資料

放射性物質の放出に関する自主基準

		カテゴリー			
		I	II	III	IV
		平常時	10^{-2} 回/年以下	$10^{-2} \sim 10^{-4}$ 回/年	$10^{-4} \sim 10^{-6}$ 回/年
放出量	トリチウム (放出形態：HTO)	1gT/年	1gT/事象 1gT/年	50gT/事象	100gT/事象
	放射化生成物 (金属)	0.5g/年	0.5g/事象 0.5g/年	25gT/事象	500gT/事象
公衆被ばく線量		0.1mSv/年	0.1mSv/事象 0.1mSv/年	5mSv/年	5～50mSv/年

* カテゴリーVについてはリスクを制限