

福島第一原子力発電所の事故の現状 と復旧計画に関する問題点

**Nuclear Disaster at Fukushima Daiichi NPP -
Current Status and Anticipated Issues about
Recovery Project**

佐藤 暁

+81-90-5534-8684

satoshi.sato@iacdc.com

International Access Corporation

April 22, 2011



内容

- 事故に対する現状認識
- 事故によるインパクト
- 復旧計画の問題点

事故に対する現状認識

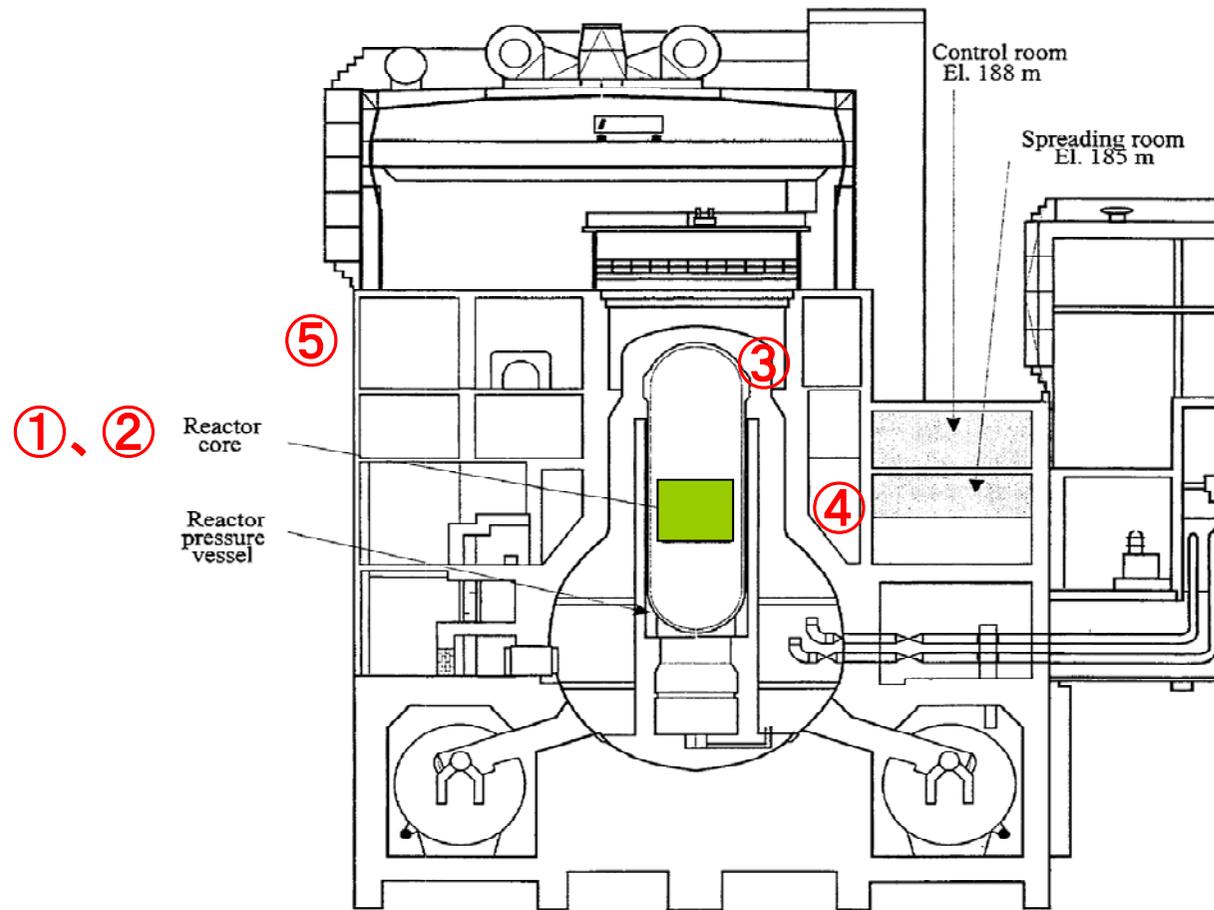
日本政府による当初の発表

	1F1	1F2	1F3	1F4
原子炉	○	○	○	空
使用済燃料プール	○	○	○	○

諸外国(佐藤)の見解・推測

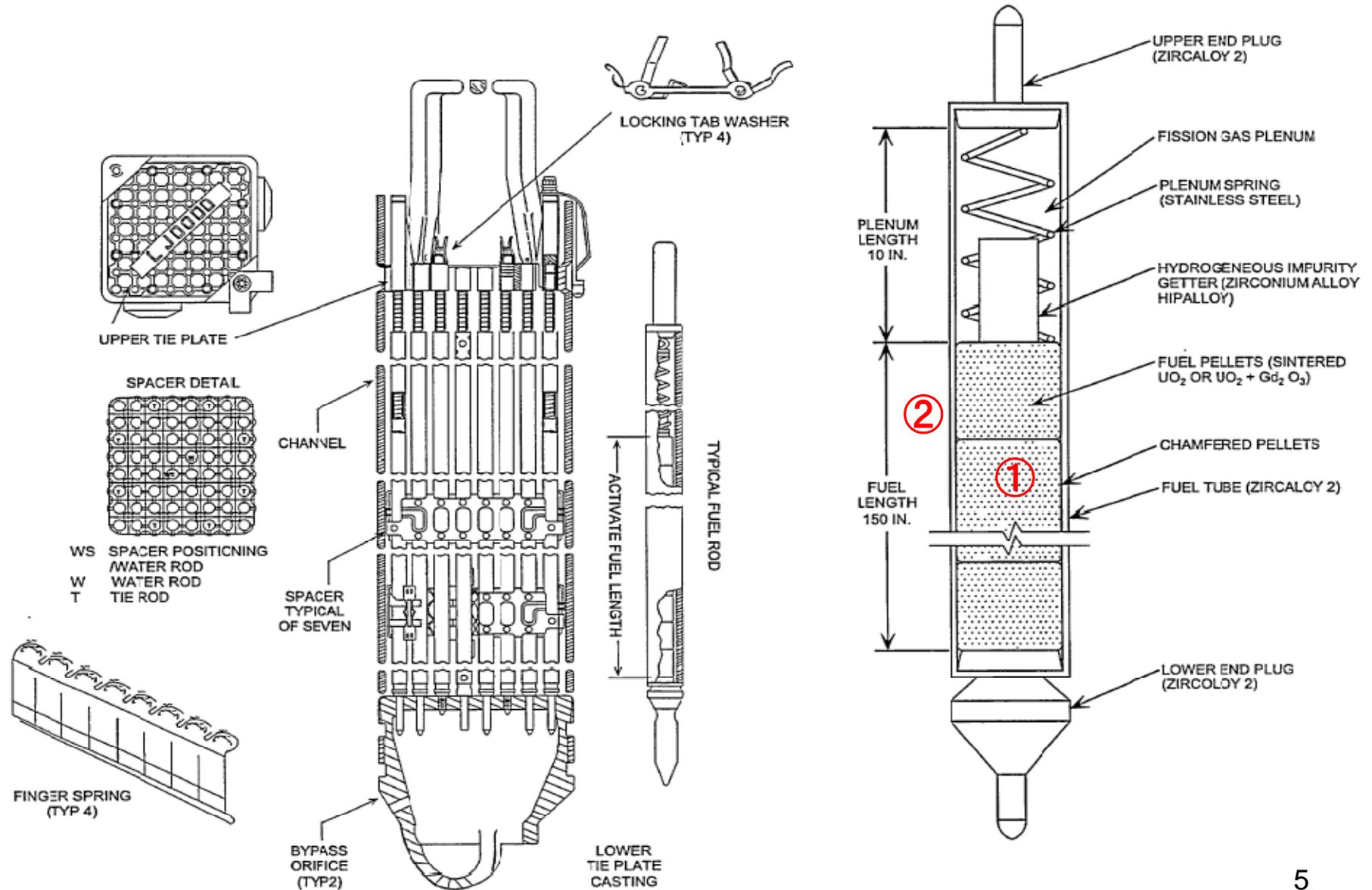
	1F1	1F2	1F3	1F4
原子炉	×	×	×	空
使用済燃料プール	○	○	×	×

第三、四、五の壁



但し、第五の壁は、非常用ガス処理系が作動しない場合には、無効であり、電源喪失時には、この場合に当たる。

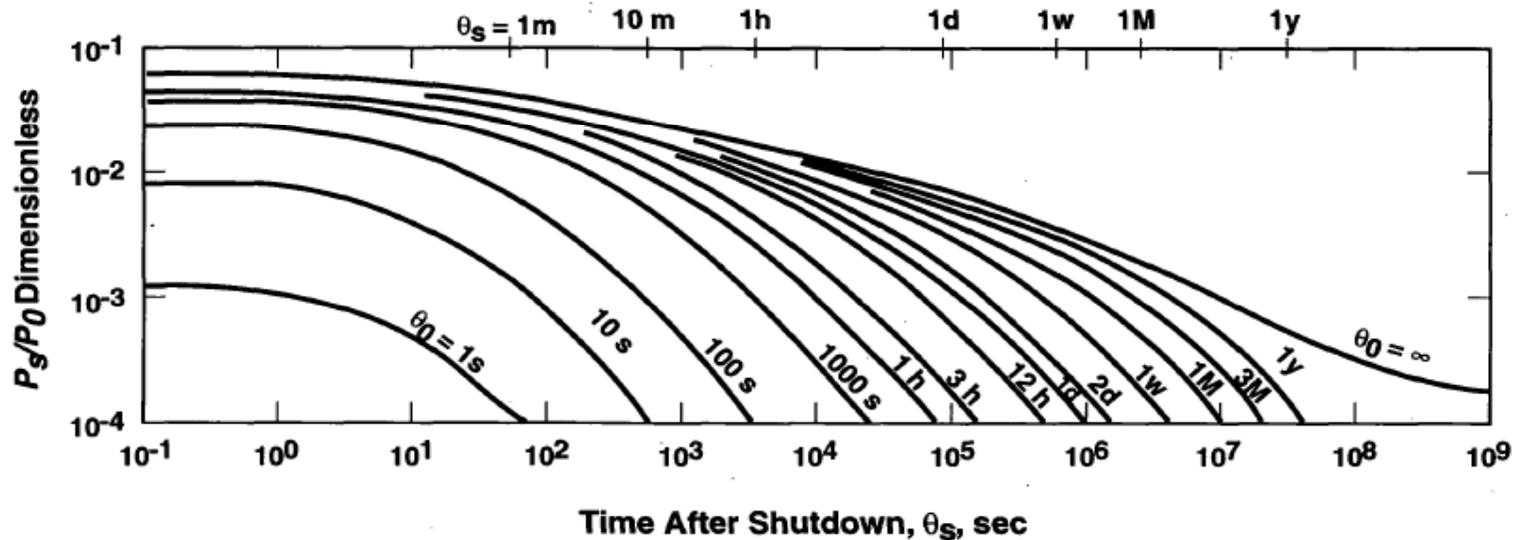
第一、第二の壁



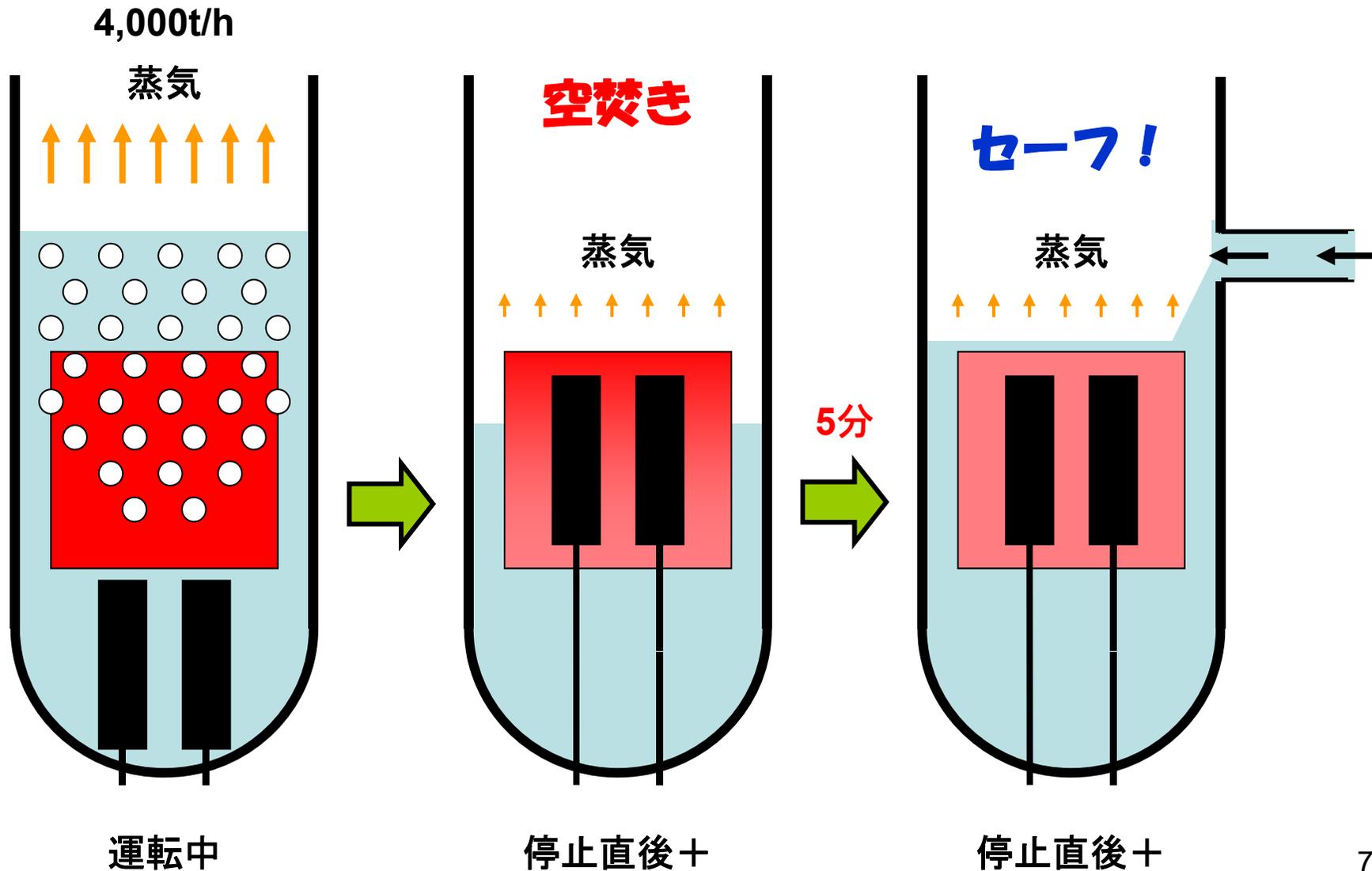
使用済核燃料の怖さ(熱)

- 残留熱

- 定格出力で運転中は、毎時、数千トンの蒸気を発生。
- 停止直後でも～5%。
- 「原子炉停止」は、照明のスイッチとは異なる。



最悪の原子炉冷却材喪失事故(LOCA)が起こったら、

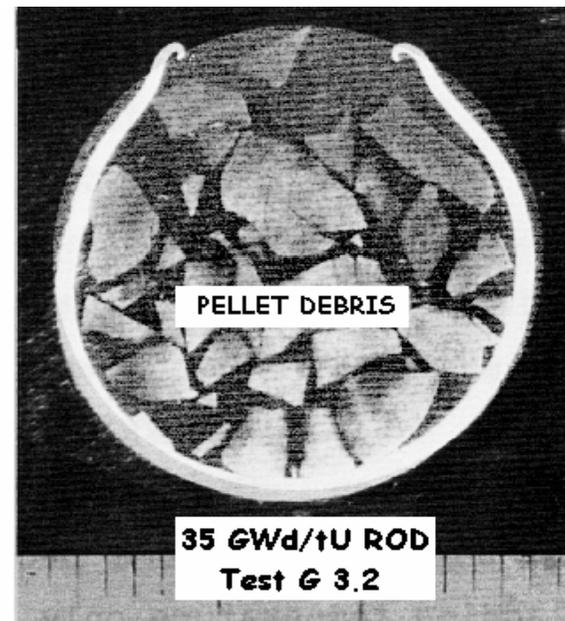
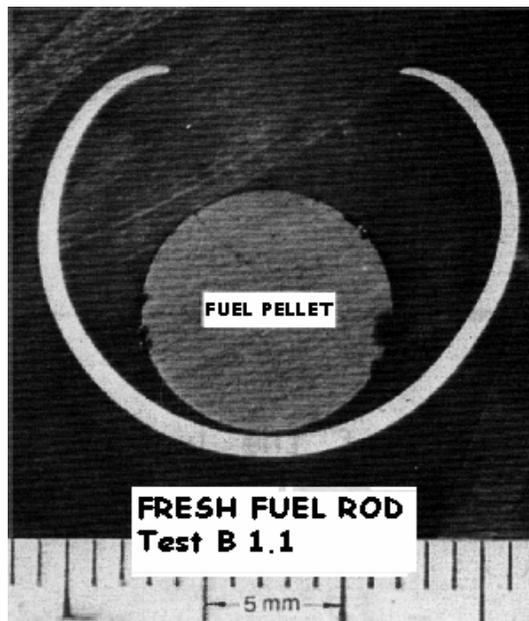
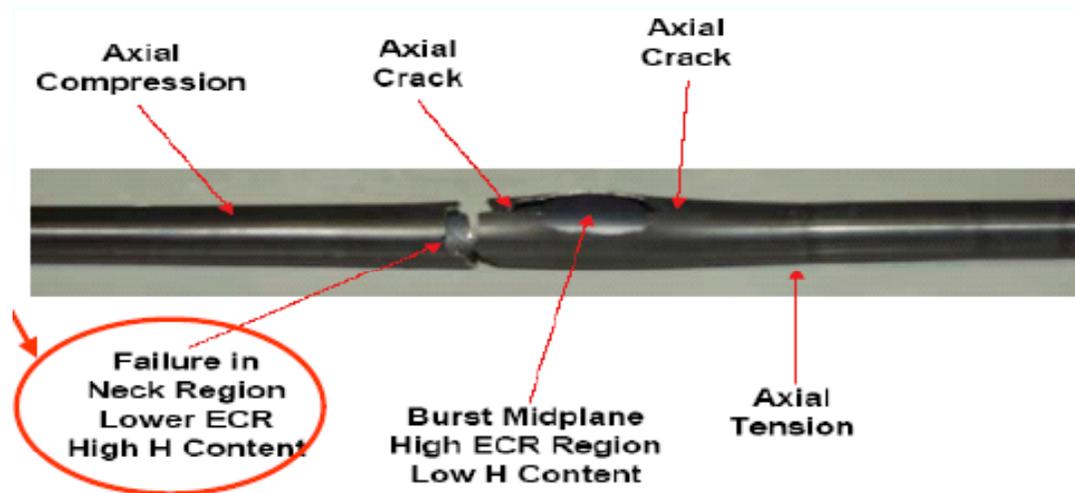
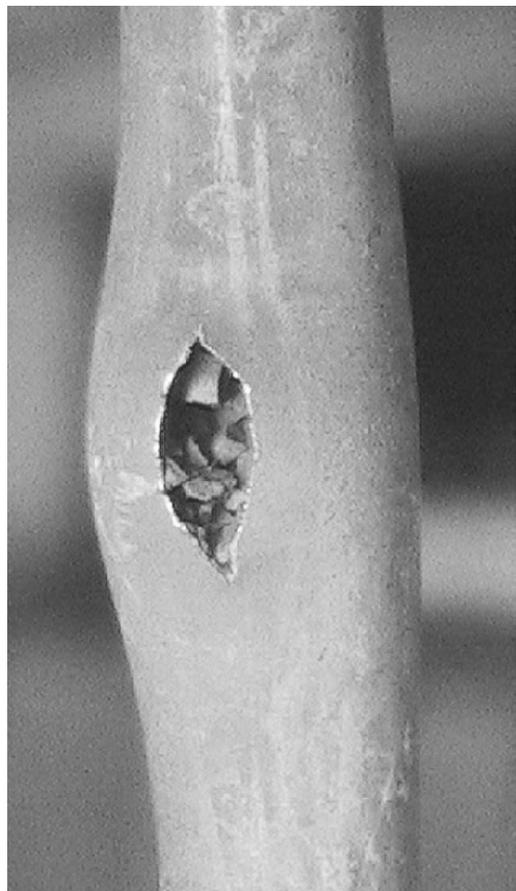


原子炉冷却材喪失事故(LOCA)後の原子炉水位回復

経過時間 (秒)	事象
0	最大口径配管の破断事故が発生。
0	格納容器内の圧力「高」と原子炉圧力容器の水位「低」が発生。 非常用ディーゼル発電機 が全基起動。原子炉スクラム。格納容器内の圧力「高」により、HPCI、CS、LPCS系が起動。
3	原子炉水位「低-低」
7	原子炉水位「低-低-低」 主蒸気隔離弁閉止
< 30	HPCI系が注水を開始
< 40	LPCI (RHR系)、CS系が定格流量で注入
230	原子炉水位が、有効燃料長の 2/3 のレベルで制定し、過熱がピーク。
300	水位が有効燃料長まで回復

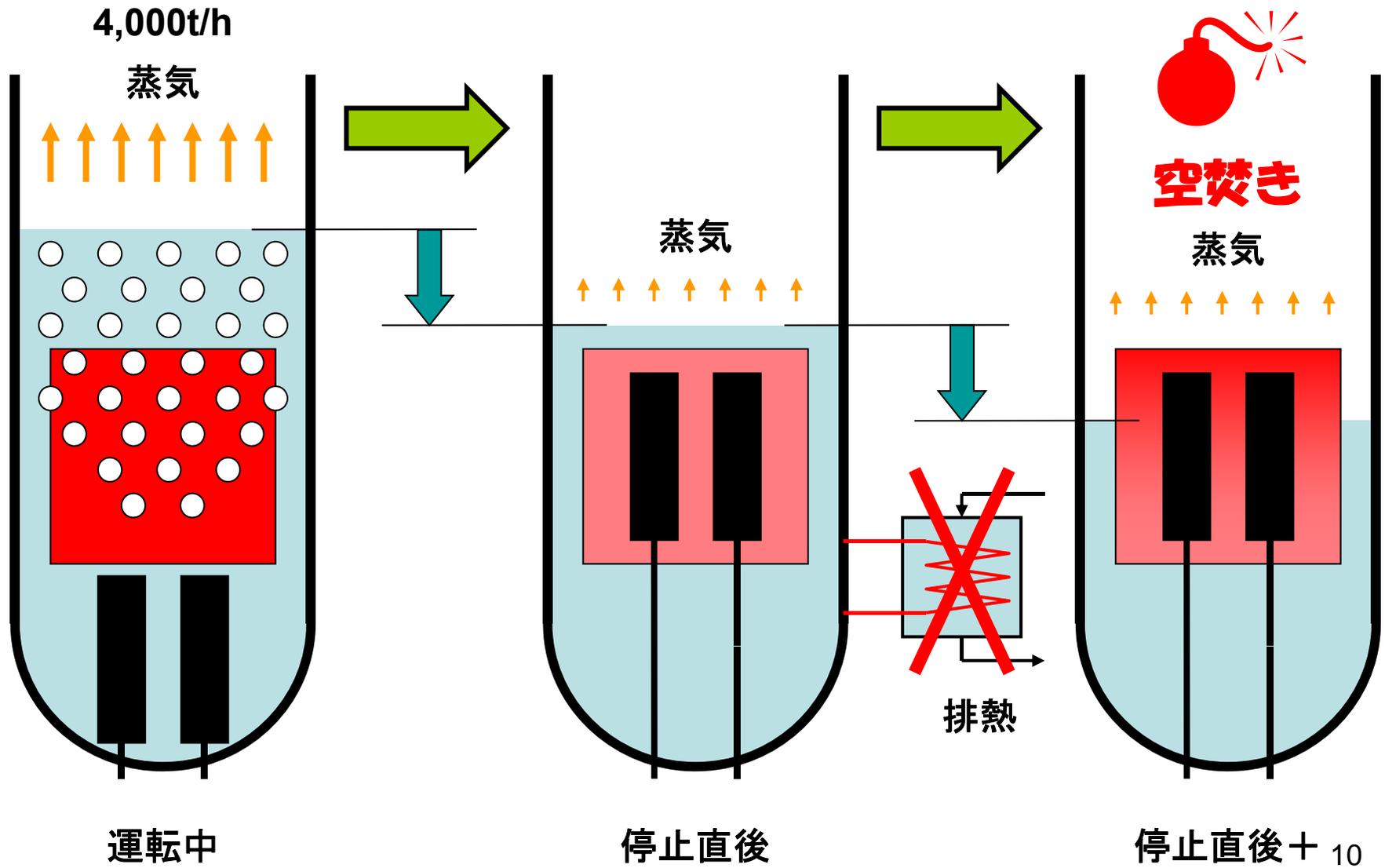
長時間空焚き後の急冷による燃料破損

水素脆化



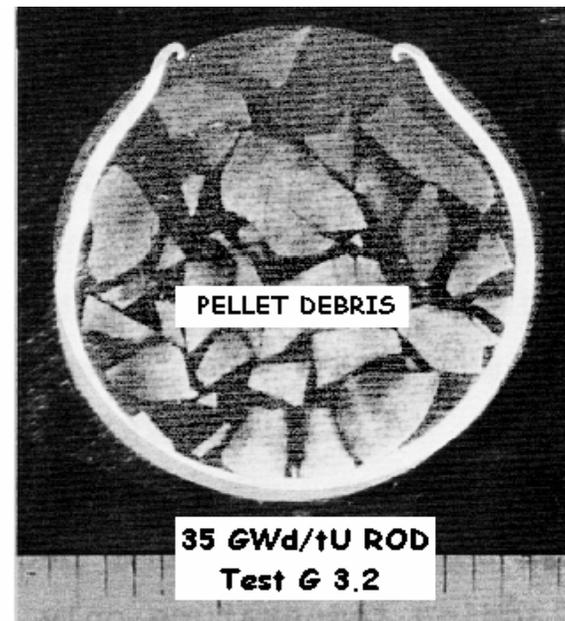
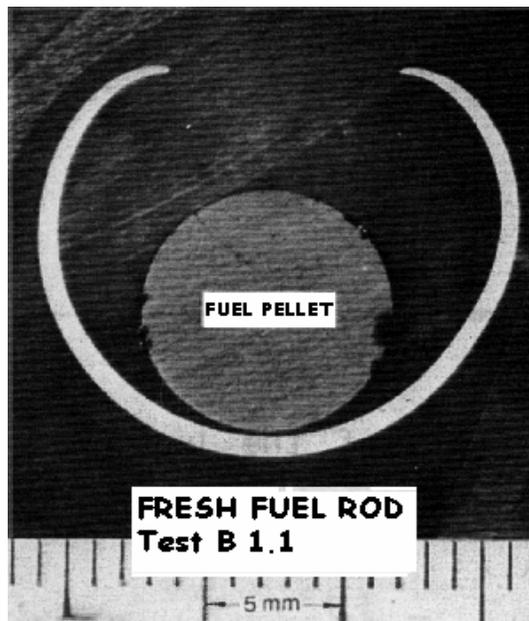
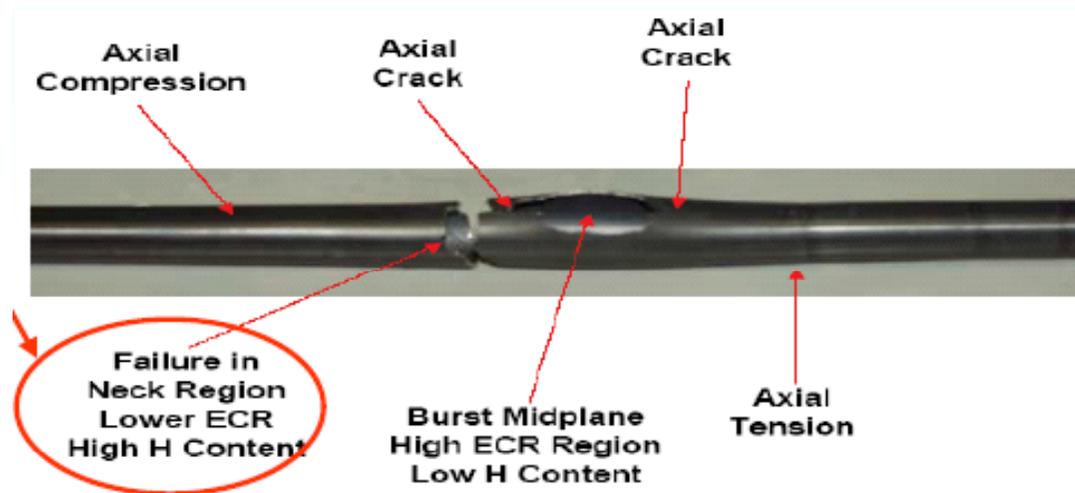
電源喪失が起こったら、

概念図

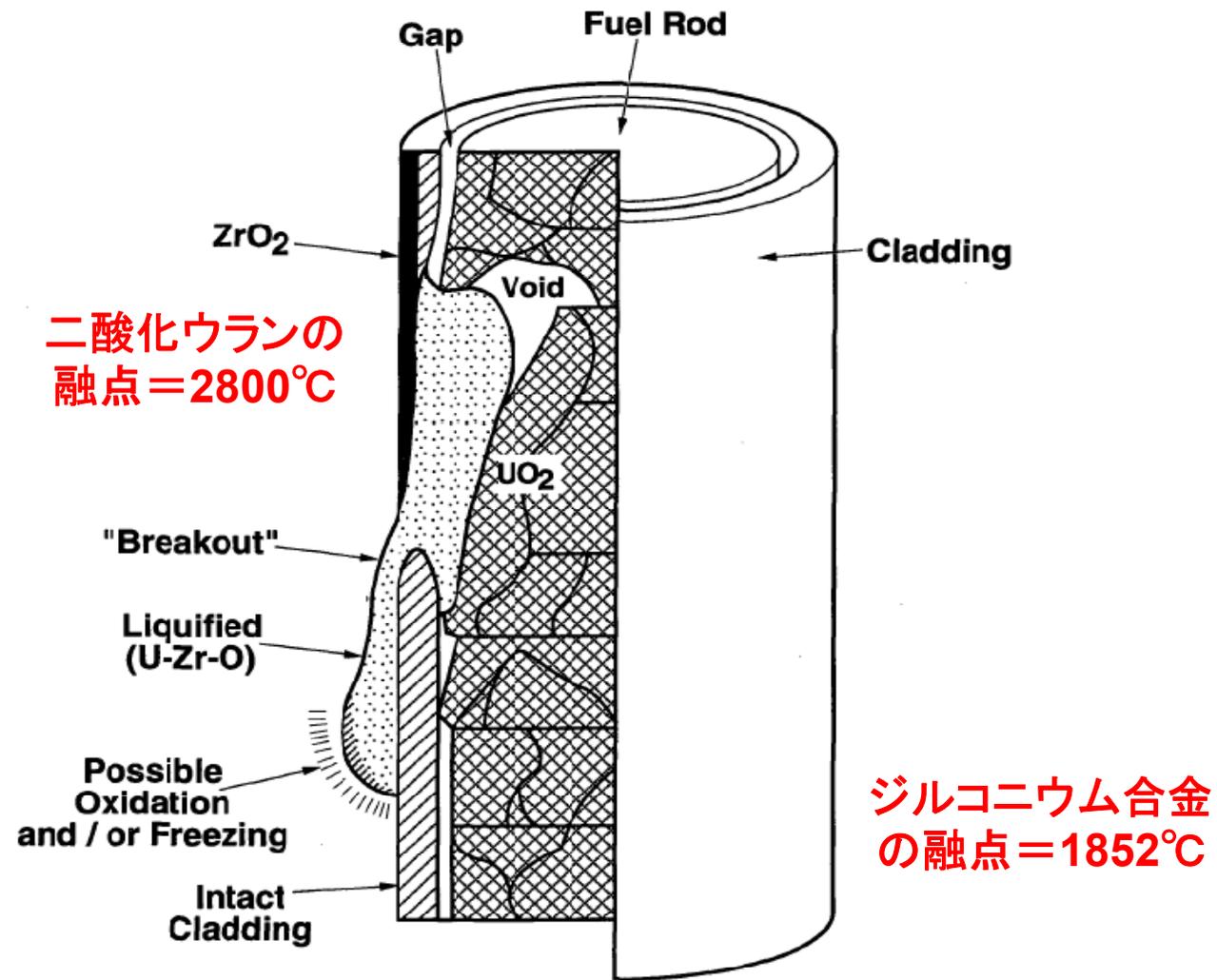


長時間空焚き後の急冷による燃料破損

水素脆化



さもなくば …

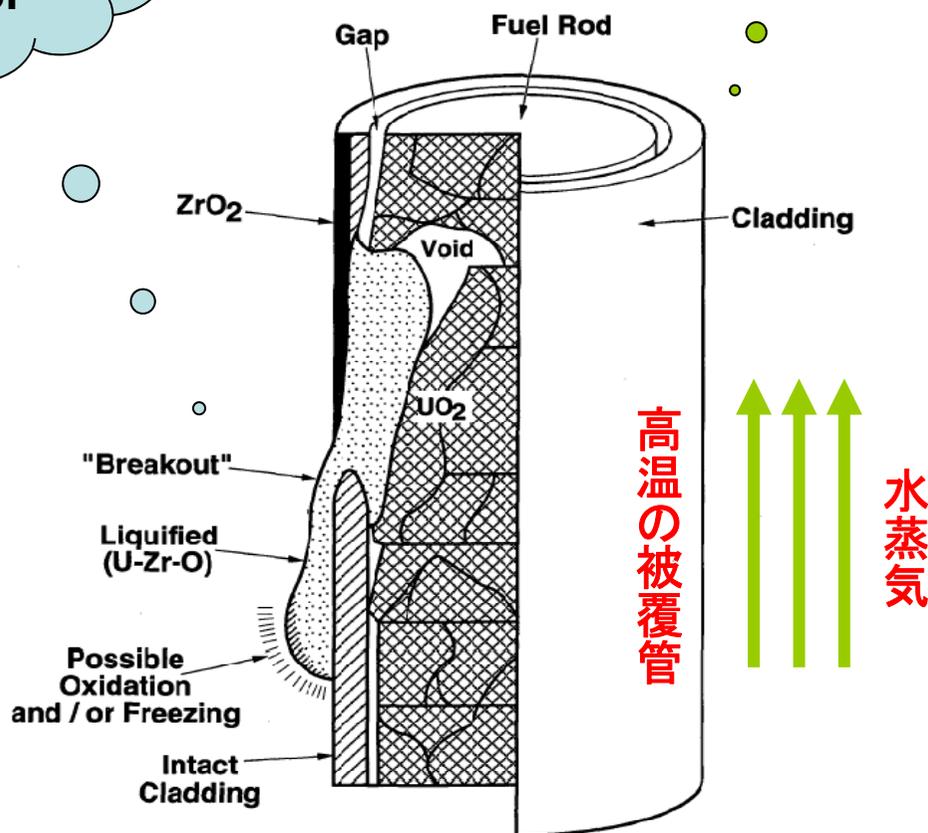


爆発性気体と放射性気体の発生元



~1,500cal/g

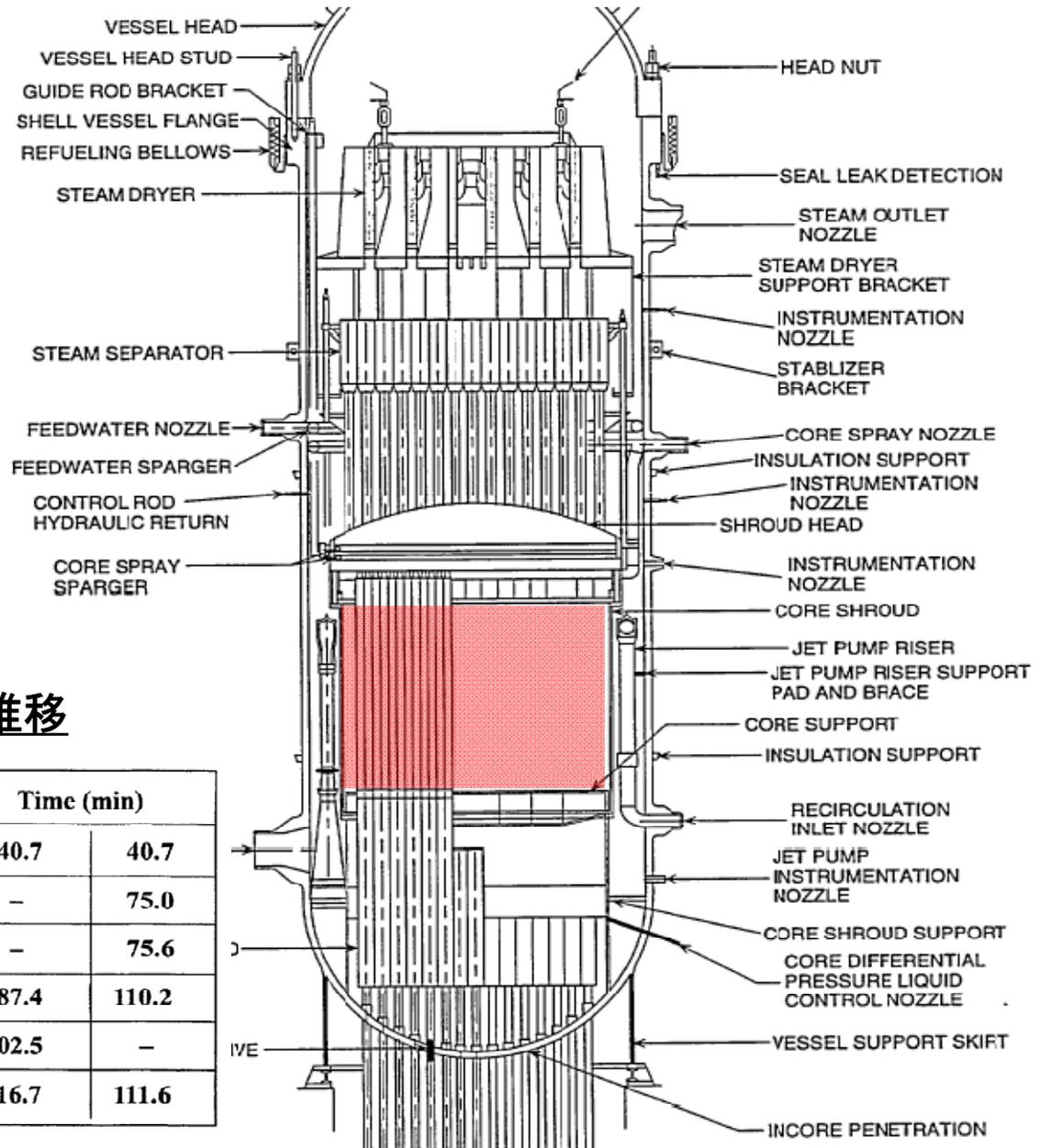
Kr, Xe, I
Cs, Sr

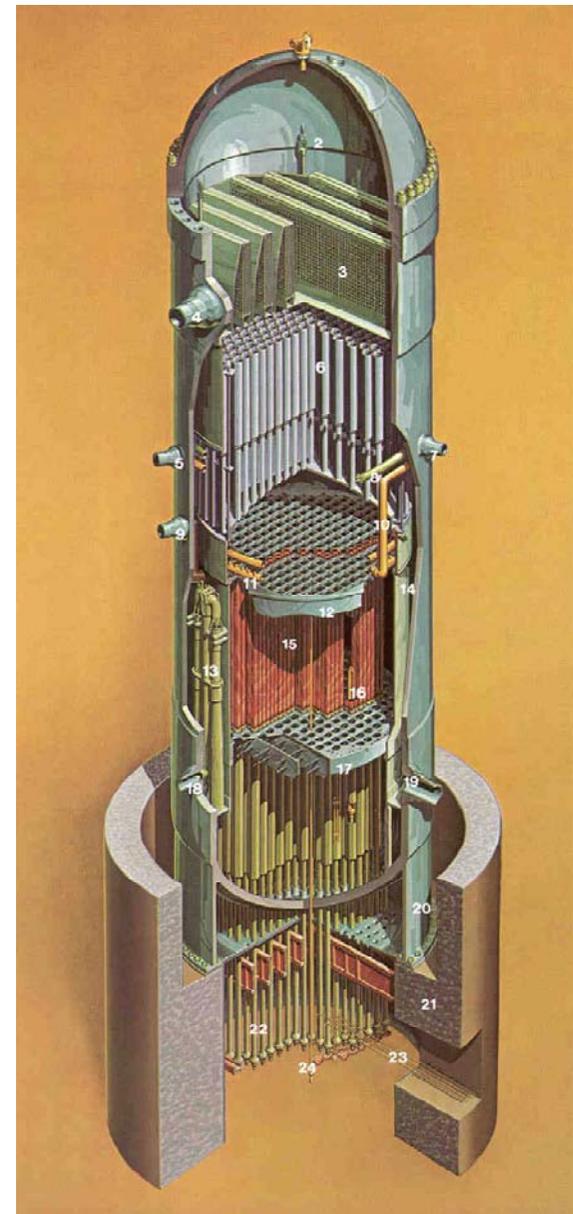
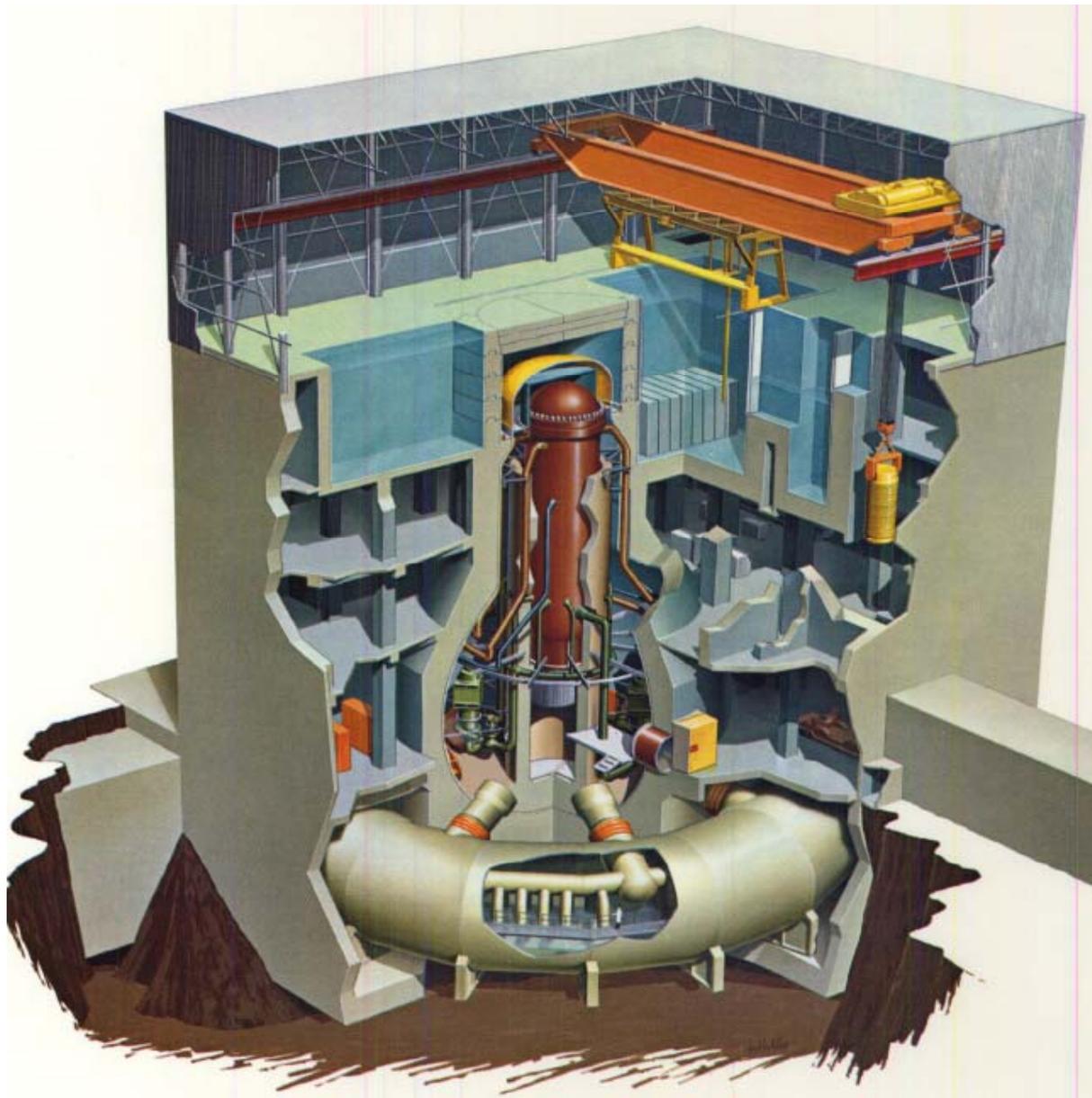


水素1kgの爆発エネルギー
(120MJ) = 30kg-TNT

実際の SBO における事象の推移

Event	Time (min)	
	Start	End
Swollen Water Level Falls Below Top of Core	40.7	40.7
ADS Actuated	-	75.0
Core Plate Dryout	-	75.6
Begin Relocation of Core Debris	87.4	110.2
Core Plate Dryout	102.5	-
First Local Core Plate Failure	116.7	111.6





使用済燃料プールの現状



東側の壁面のコンクリートが崩落

使用済燃料体数				
	1号機	2号機	3号機	4号機
原子炉	400	548	548	0(空)
使用済燃料プール	292	587	514	1331
残留熱発生率 (1000kcal/h)	60	400	200	1,600

炉心損傷、使用済燃料プール(SFP)損傷まで

		3/11 15:41 SBO	3/12 00:00	3/12 04:00	3/12 15:36
1号 運転中	炉心	IC 運転中		IC 運転停止	水素爆発
	SFP	冷却機能喪失			
2号 運転中	炉心	RCIC 運転中	RCIC INOP	RCIC 運転中	RCIC 運転中
	SFP	冷却機能喪失			
3号 運転中	炉心	RCIC operable			
	SFP	冷却機能喪失 + 地震時の損傷			
4号 停止中	炉心	空			
	SFP	冷却機能喪失 + 地震時の損傷			

炉心損傷、使用済燃料プール(SFP)損傷まで(続)

		3/12 20:00	3/12 23:00	3/14 11:01	3/15 06:00
1号 運転中	炉心	炉心損傷の継続			
	SFP	冷却機能喪失			
2号 運転中	炉心	RCIC 運転停止	RCIC 運転再開		水素爆発
	SFP	冷却機能喪失			
3号 運転中	炉心	RCIC 運転中	HPCI 運転中?	水素爆発	
	SFP	冷却機能喪失 + 地震時の損傷			
4号 停止中	炉心	空			
	SFP	冷却機能喪失 + 地震時の損傷			水素爆発

炉心損傷、使用済燃料プール(SFP)損傷まで(続)

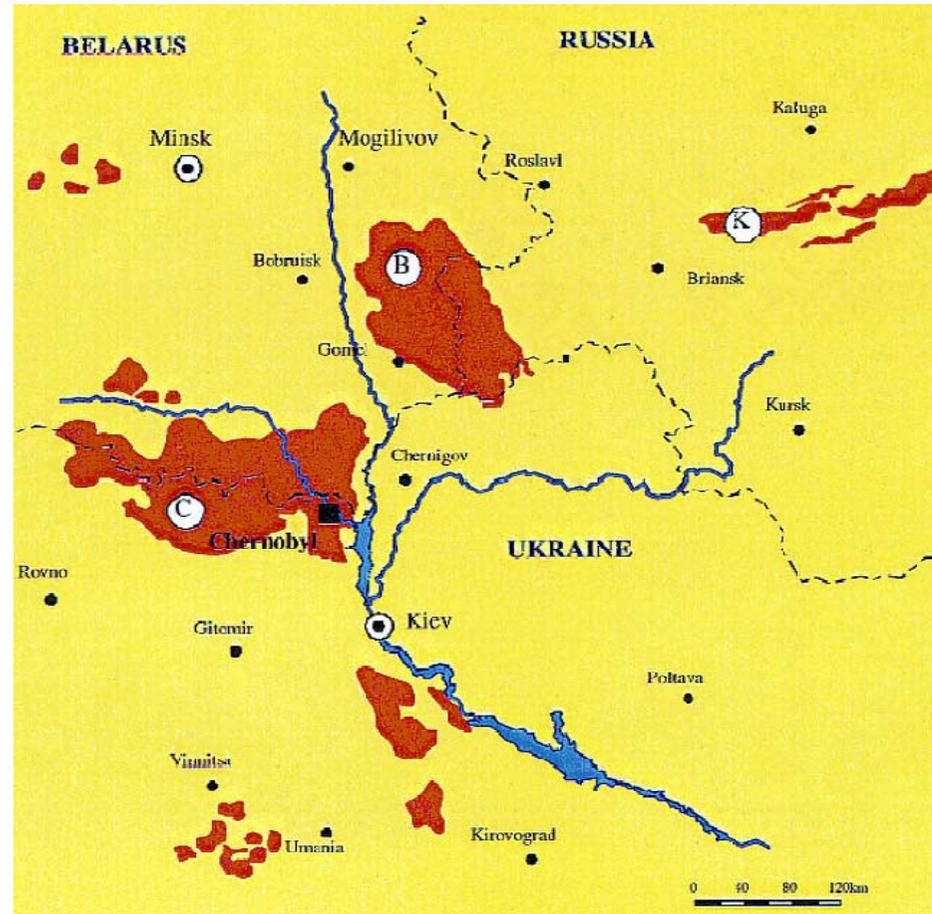
		3/15 10:00	3/15 ??:??
1号 運転中	炉心	炉心損傷の継続	
	SFP	冷却機能喪失	
2号 運転中	炉心	炉心損傷の継続	
	SFP	冷却機能喪失	
3号 運転中	炉心	炉心損傷の継続	
	SFP	SFP 損傷の継続	
		西側放射線 400mSv/h	東側外壁焼損、瓦礫発生
4号 停止中	炉心	空	
	SFP	SFP 損傷の継続	
		西側放射線 100mSv/h	東側外壁焼損、瓦礫発生

事故によるインパクト

チェルノブイリ事故の場合

放射能汚染のレベルは斑模様、遠近の相関は少ない。

出典： OECD/NEA “Chernobyl Ten Years on Radiological and Health Impact – An Assessment by the NEA Committee on Radiation Protection and Public Health” November 1995



● ¹³⁷Cs deposition on the ground greater than 555 kBq/m²

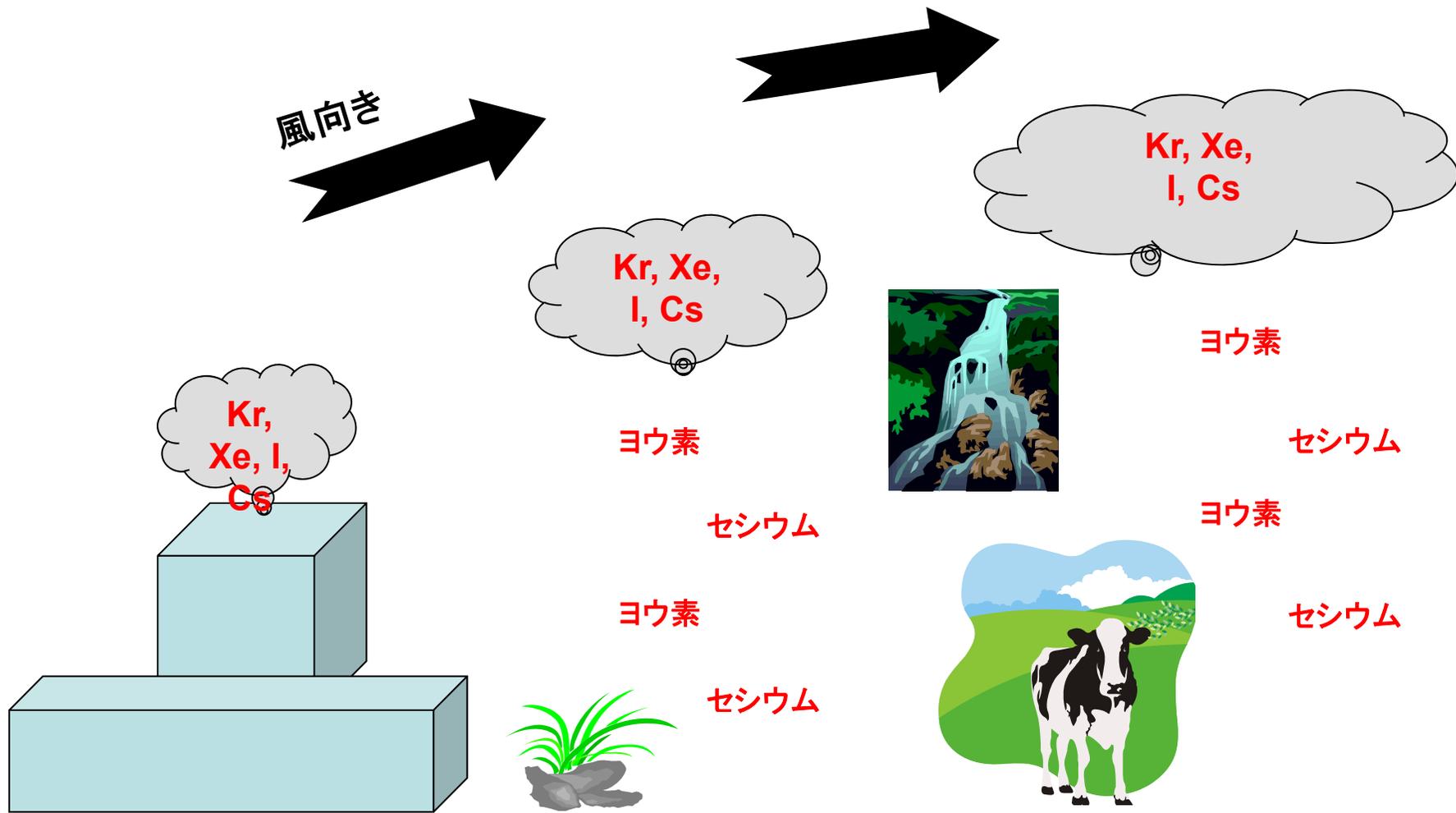
使用済核燃料の怖さ(放射能)

原子炉停止時に1、2、3号機の原子炉に内包されていた放射能量

		1号機	2号機	3号機	(4号機)	合計
燃料集合体数		400	548	548	空	
電気出力(MW)		460	784	784	停止中	
熱出力(MW)		1,380	2,381	2,381	停止中	6,142
内包される放射性物質の量(TBq)	Xe-133	2.8×10^6	4.9×10^6	4.9×10^6		1.26×10^7
	I-131	1.3×10^6	2.3×10^6	2.3×10^6		6.0×10^6
	Cs-134	1.8×10^5	3.1×10^5	3.1×10^5		8.0×10^5
	Cs-137	1.0×10^5	1.7×10^5	1.7×10^5		4.5×10^5

大気中に放出される I-131 の放射能量と INES レベル

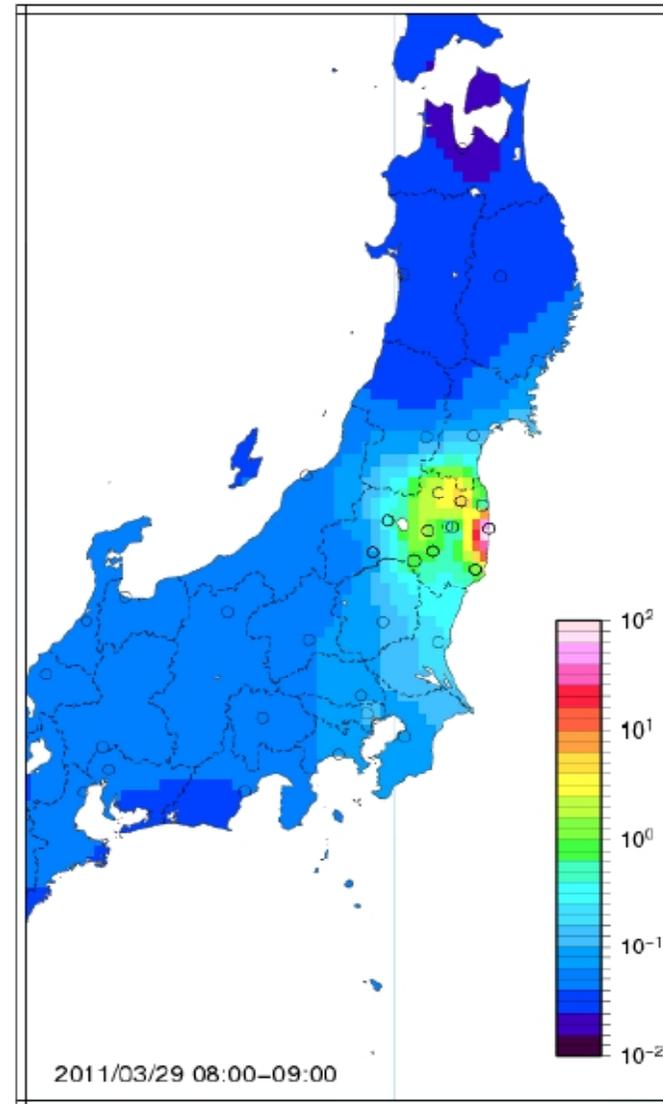
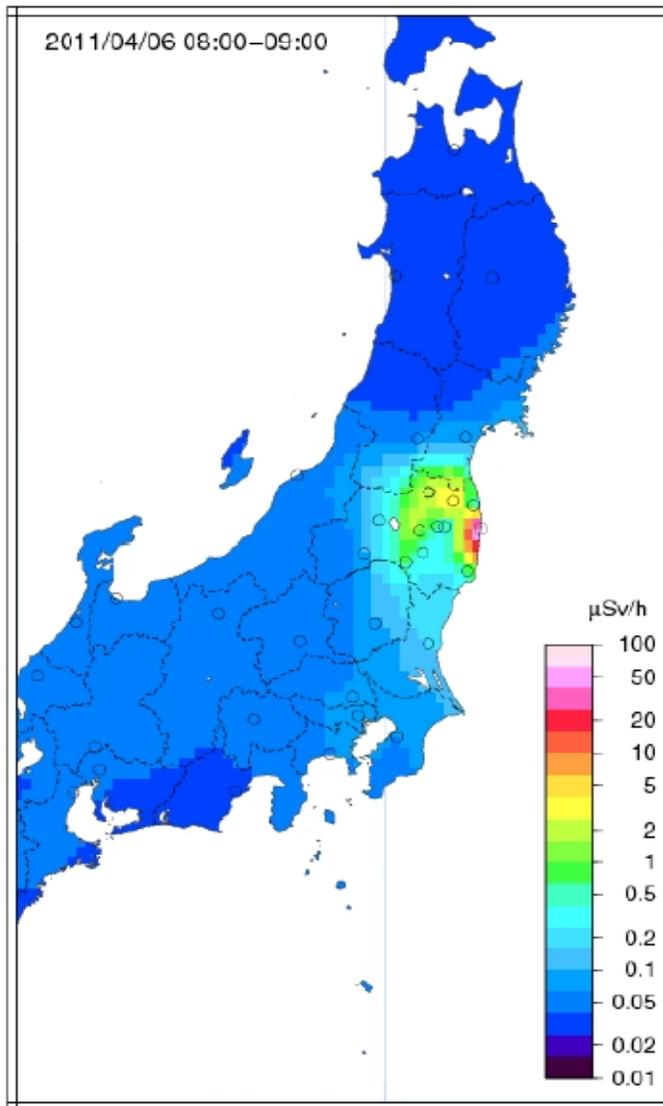
レベル4	50~500
レベル5	500~5,000
レベル6	5,000~50,000
レベル7	50,000~500,000



放出された放射性物質	TMI-2 事故	チェルノブイリ事故
希ガス成分	92,500TBq	7,030,000TBq
ヨウ素	0.56TBq	1,665,000TBq
粒子成分		2,220,000TBq

East Japan Radiation Level

Radiation level map



福島県の放射能汚染レベル



仮定/条件:

- バックグラウンド線量率 = $0.1 \mu\text{Sv/h}$
- 汚染換算係数: $5.3 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^2/\text{cpm}$

	いわき	郡山	福島	飯舘	浪江(赤宇木)
空間線量率($\mu\text{Sv/h}$) 4/12-08:00	0.4	1.79	1.95	5.27	23.9
汚染による上昇分($\mu\text{Sv/h}$)	0.3	1.69	1.85	5.17	23.8
地面の汚染測定値(cpm) "ALERT"	-	8535	-	-	-
汚染レベル(Bq/cm^2)	8	45	49	138	633

東京でも検出されている放射能汚染



測定日： 2011年4月15日

汚染サンプル採取場所：
国会議事堂内 みんな党控室
外側窓枠(100cm²)

測定器： Inspector ALERT

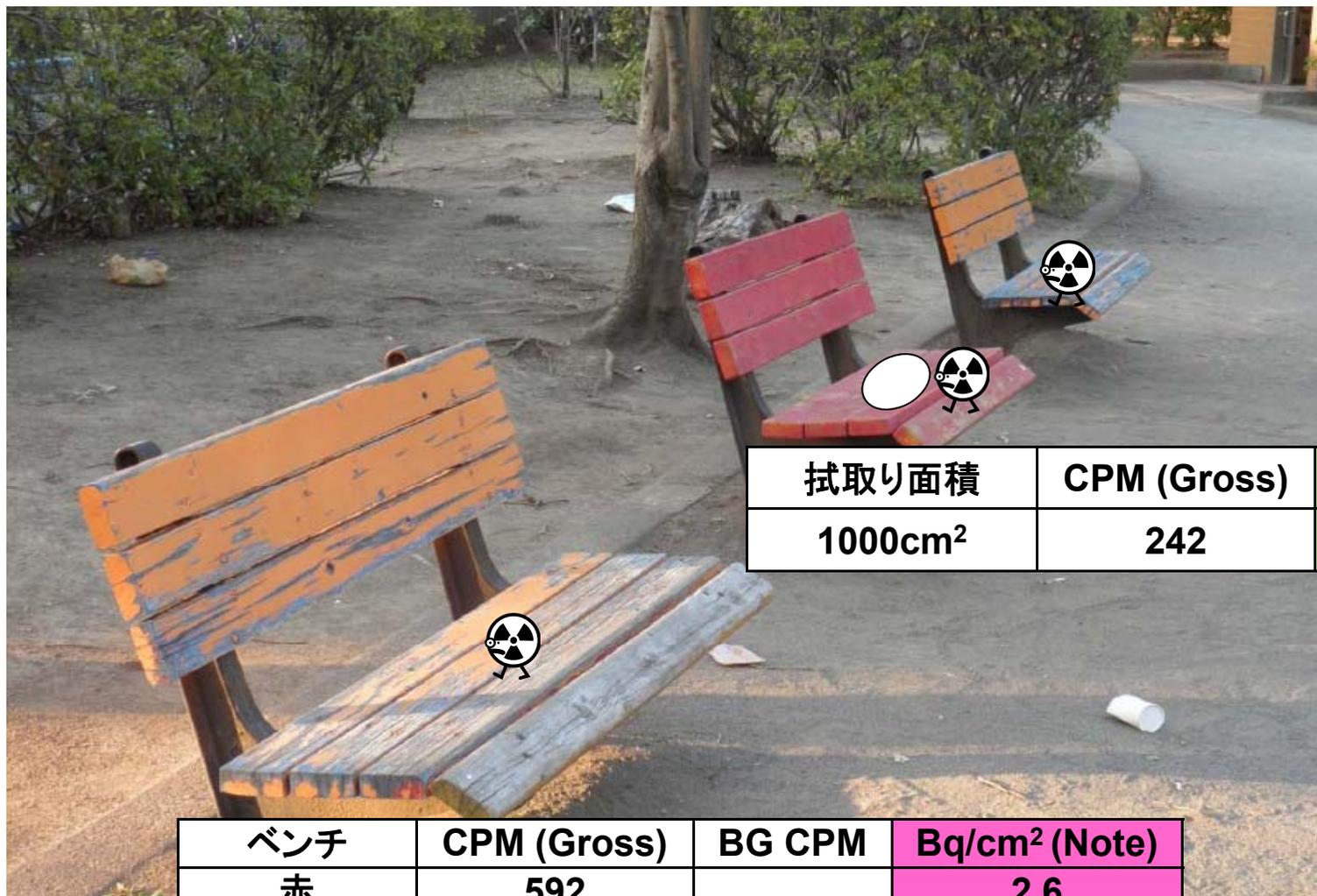
スミヤ法(効率50%)換算係数：
 $1.8 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^2/\text{cpm}$

拭取り(スミヤ)法による
汚染測定の結果

$$(230-34) \times (1.8 \times 10^{-3}) \\ = \underline{0.35 \text{ Bq/cm}^2}$$



東京都足立区 菖蒲沼公園



拭取り面積	CPM (Gross)	Bq/cm ²
1000cm ²	242	0.073

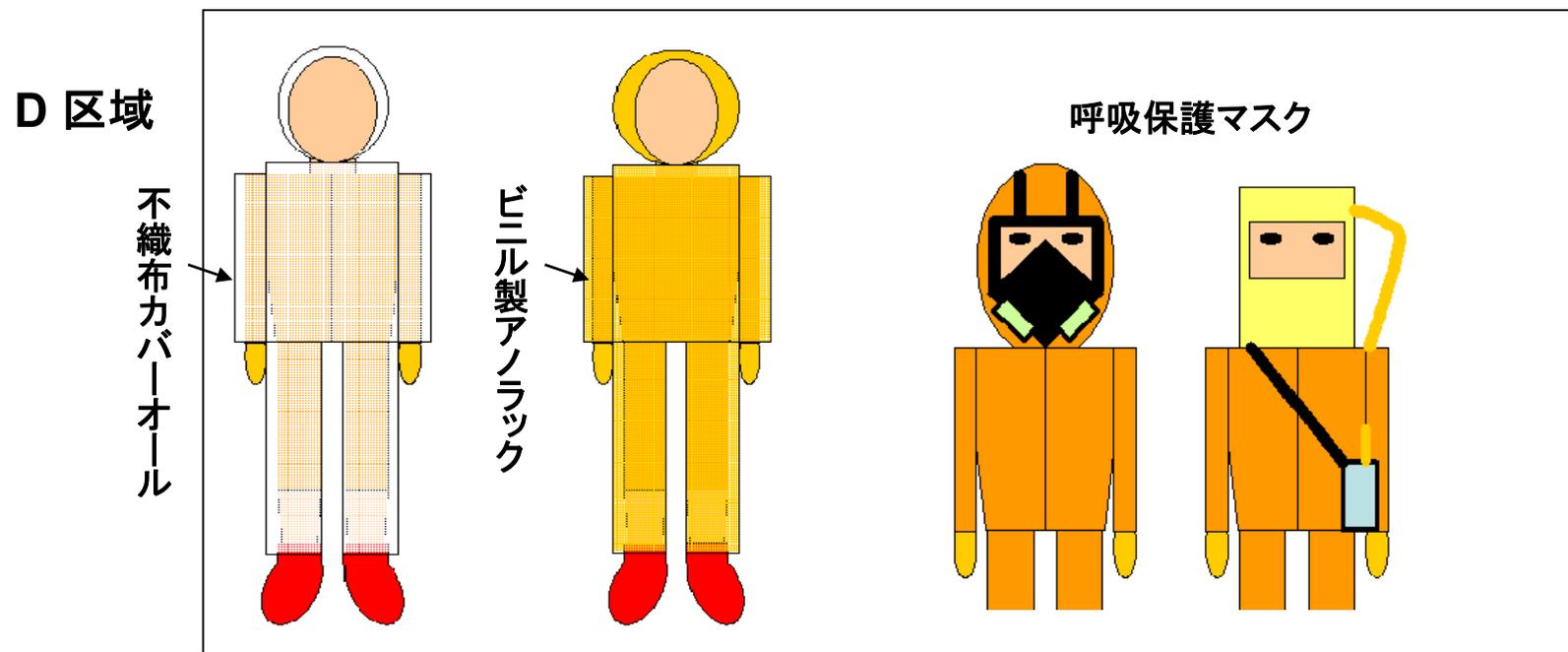
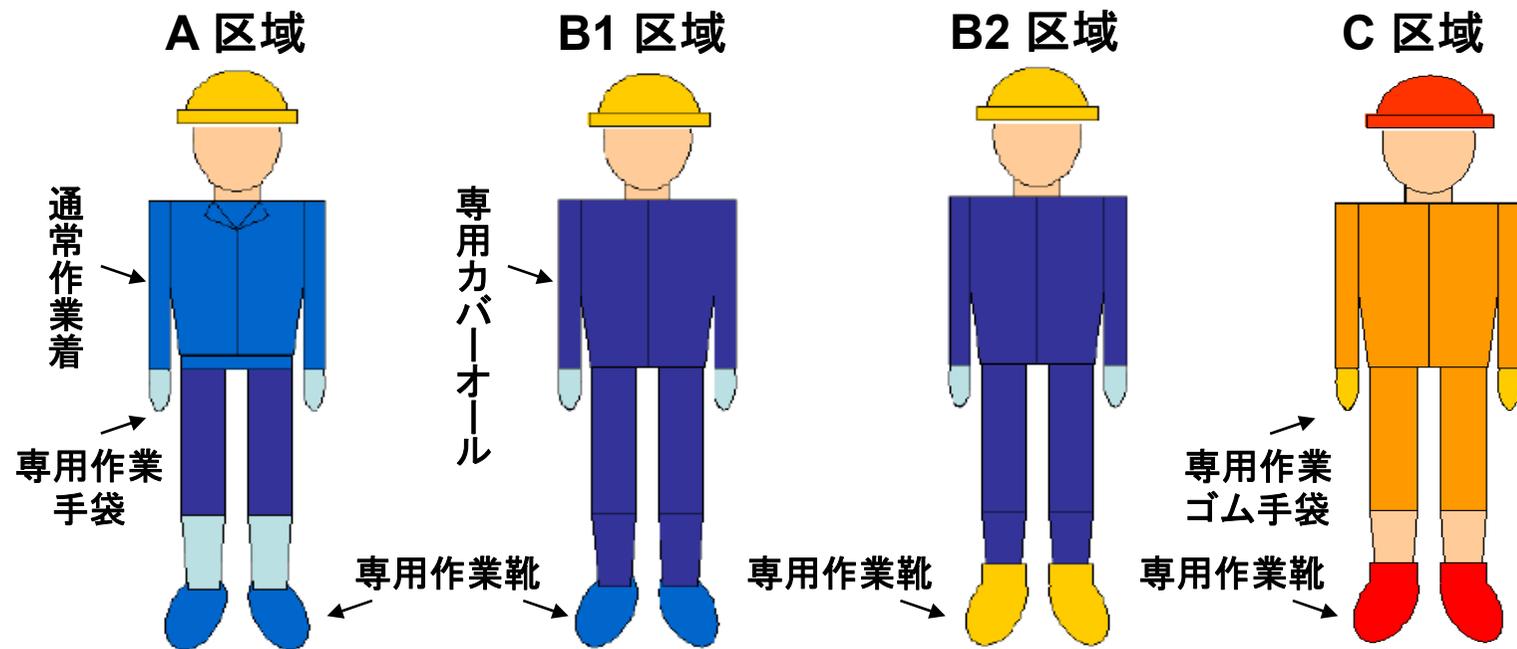
ベンチ	CPM (Gross)	BG CPM	Bq/cm ² (Note)
赤	592	100	2.6
黄	690		3.1

国内の代表的な原子力発電所における汚染区分と汚染防護服・装備

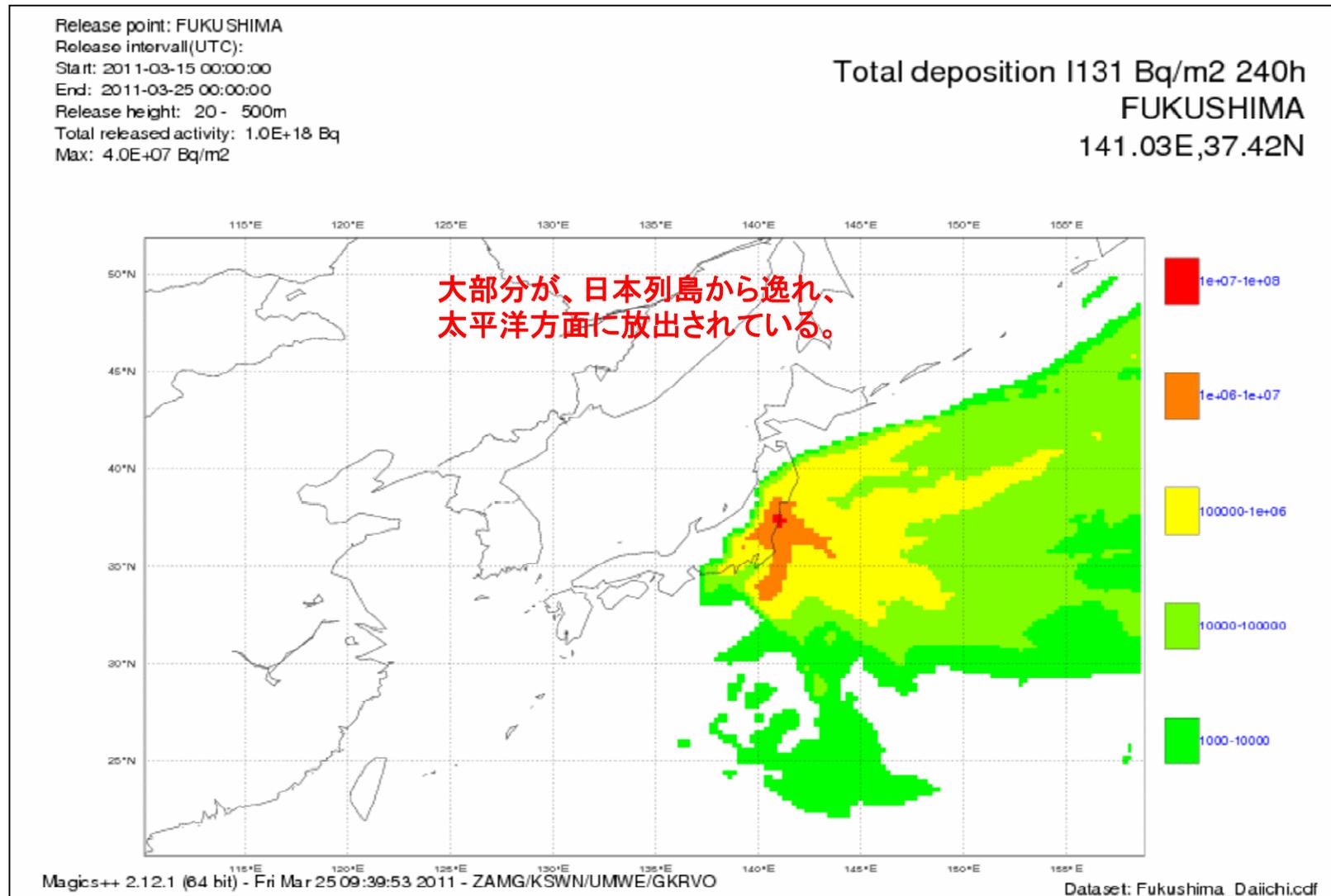


汚染レベルに応じた区域区分		A	B1	B2	C	D
汚染密度 (Bq/cm ²)	運用目標値	LTD*	LTD*	< 0.8	< 40	> 40
	制限値	LTD*	LTD*	< 4	< 40	> 40

*: LTD = 測定検出限界未満の意。



WeatherOnline(英国)が、ZAMG 解析コードを使って求めた日本の周りへの放射能(I-131)汚染の拡散状況。但しこの推定では、3月15日から25日までの10日に亘り、日100,000テラベクレルの放出があったと仮定している。



20km 圏内での実態





国道6号線(広野町～富岡町)迂回路 通称「山麓線」



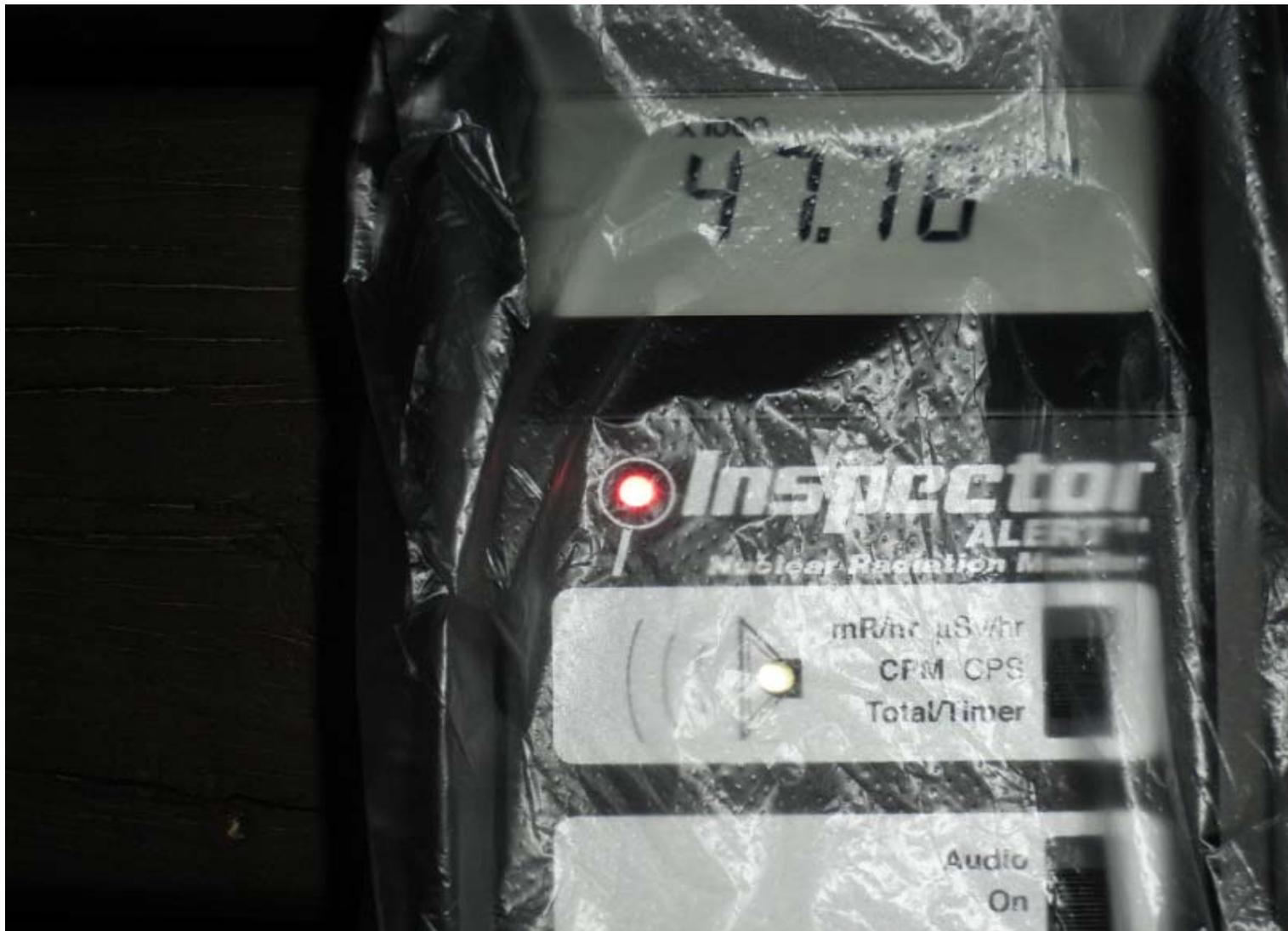


佐藤宅(富岡町本岡新夜ノ森)



ウッド・デッキ





47,780cpm \Rightarrow 253Bq/cm²

ウッド・デッキ 階段下 コンクリート



東京のバックグラウンド 40cpm



58,550cpm ⇒ 310Bq/cm²

東京のバックグラウンド
0.014mR/hr



18.46mR/hr = 184.6 μ Sv/hr

玄関前





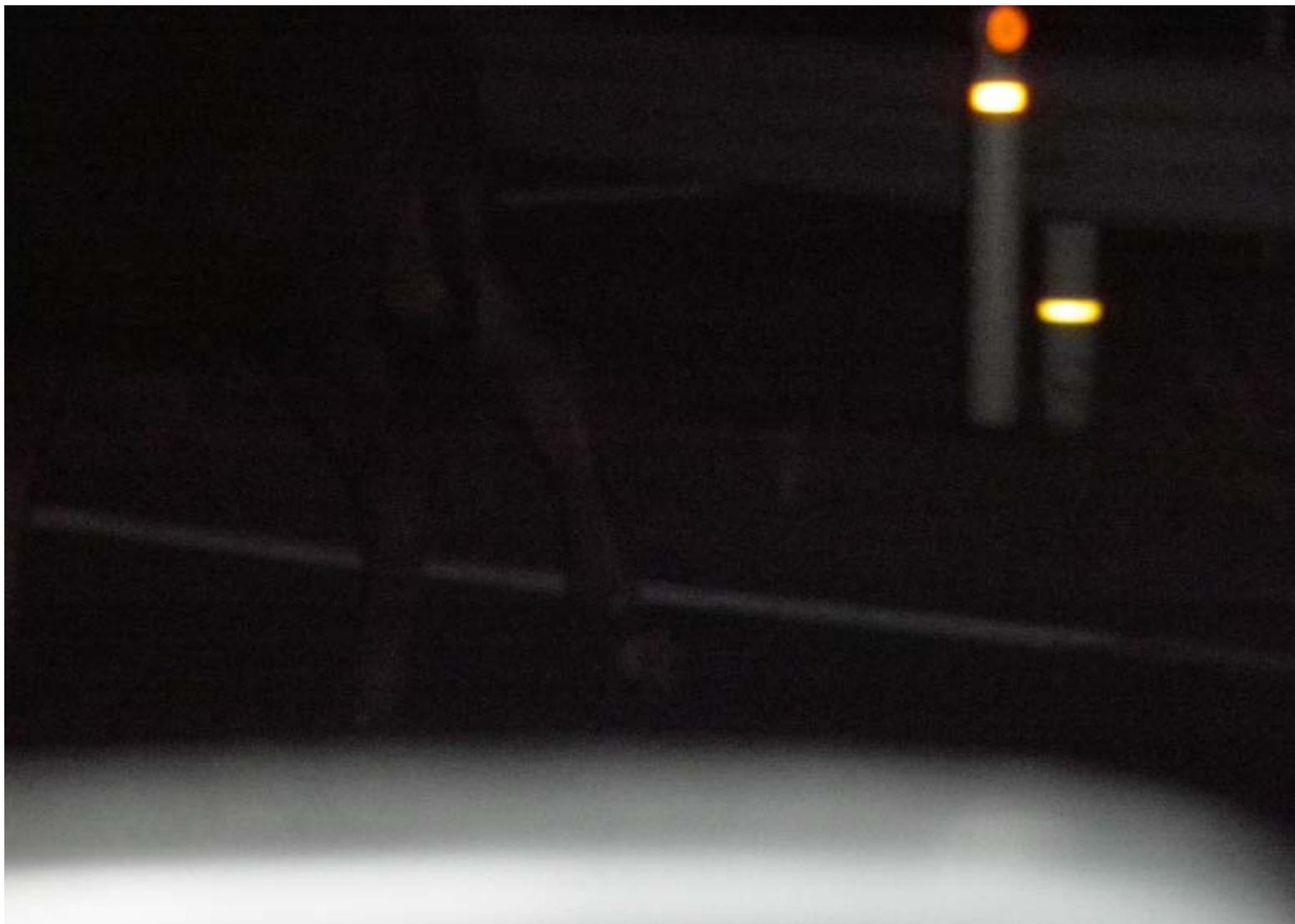
22.18mR/hr



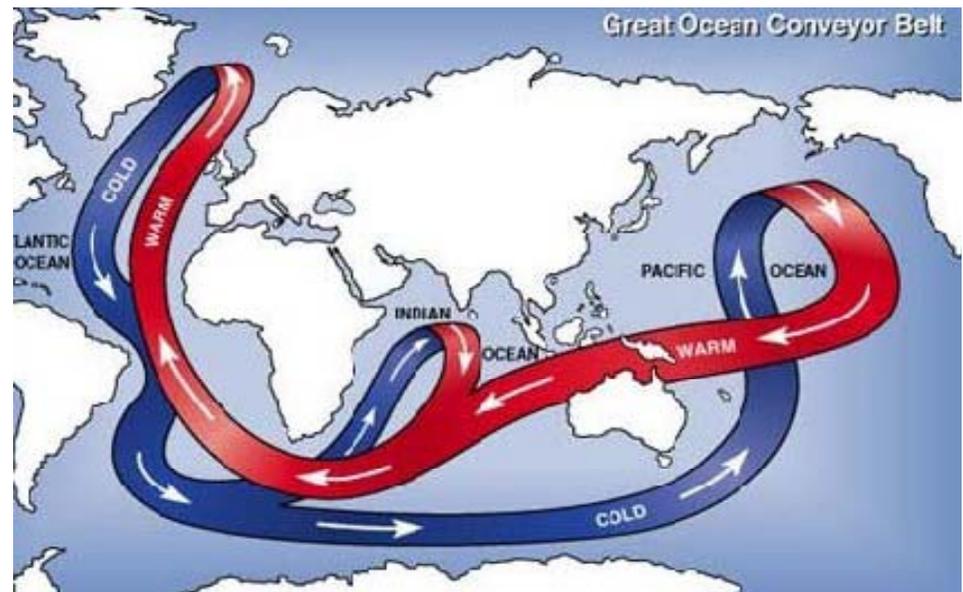
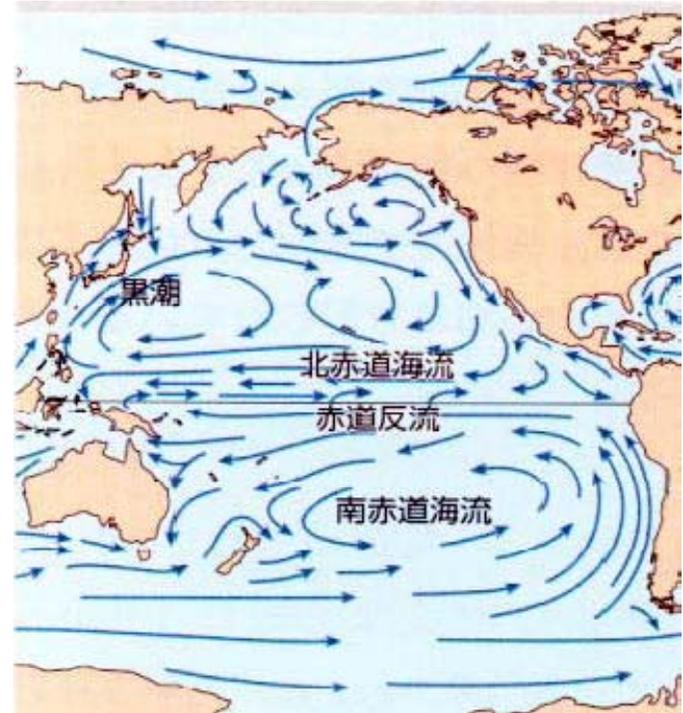


19.91mR/hr

真夜中の国道6号線(富岡町)を駆ける約10頭の和牛の群れ



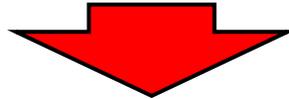
海流に乗って日本近海と世界の海に広がる放射能



復旧計画の問題点 と代替案の検討

選択肢（両極端）

施設の損壊状況の詳細把握



完全回収遂行

- 冷却
- 燃料回収
 - 原子炉
 - 使用済燃料プール
- 機器、構造物の除却
- 汚染水の処理
- 汚染土壌の回収、処理
- 汚染地下水の回収、処理
- 埋設処理施設での保管

完全回収断念

- 燃料回収範囲の決定
(最悪のケース)
 - 全号機の原子炉の放棄
 - 全号機の使用済燃料プールの放棄
- 原子炉に対する安全処置
- 使用済燃料プールに対する安全処置
- 機器、構造物の除却
- 汚染水の処理
- 石棺化
- 復興プロジェクト

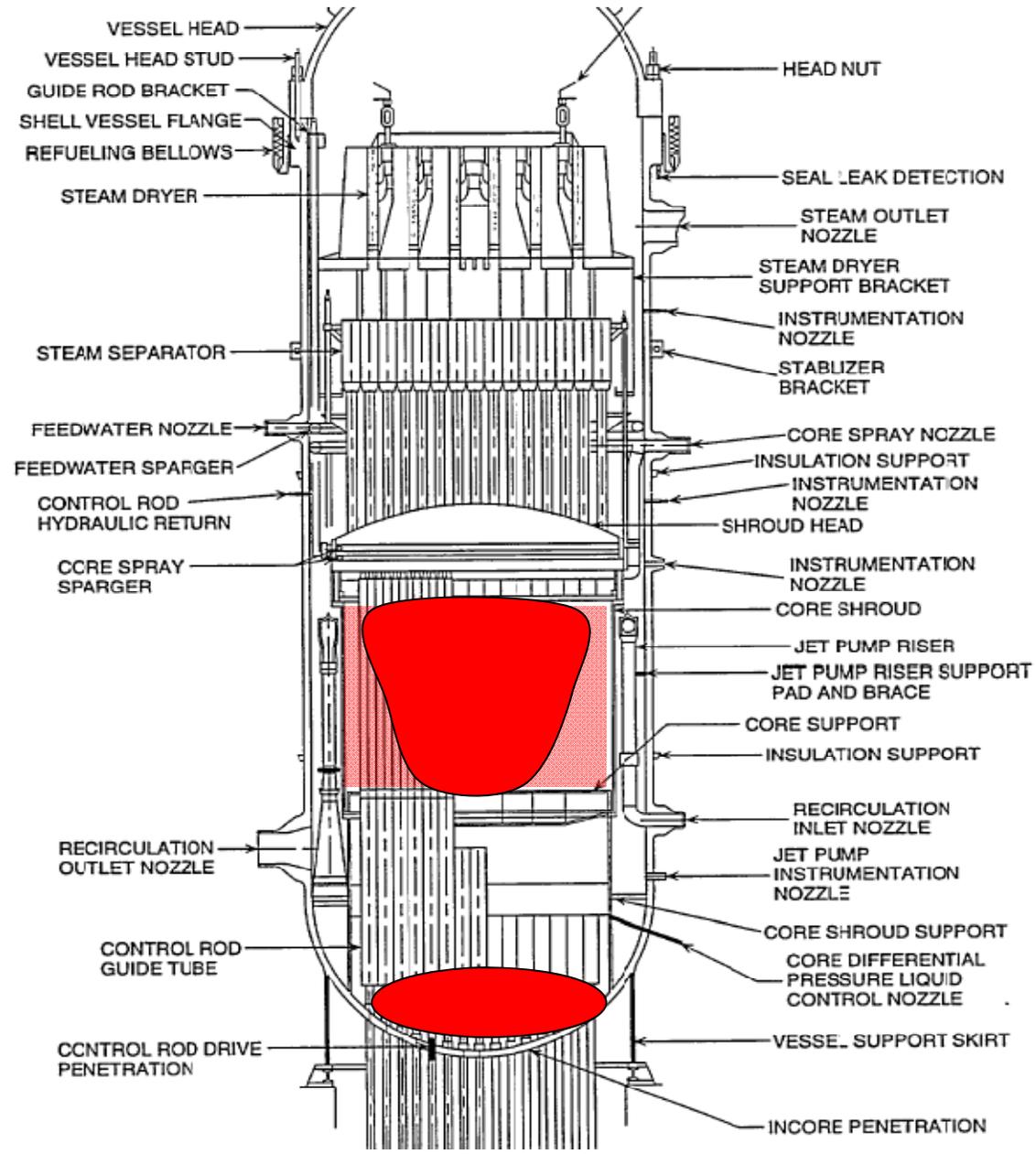
難度 大

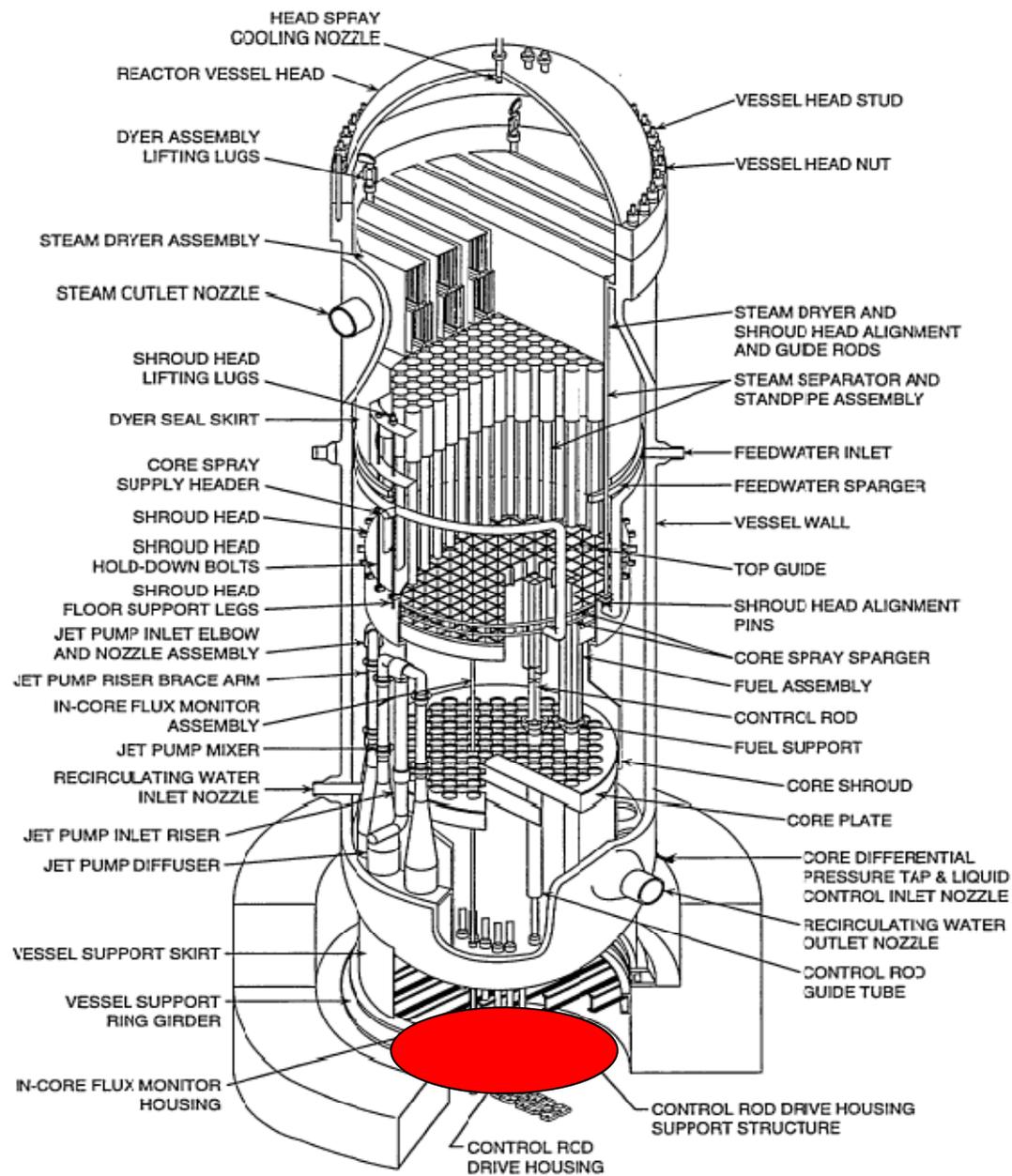
選択肢決定のプロセスにおける考慮点

- 安全性
 - 再臨界、水素爆発、放射能の継続放出などに関する懸念に対処。
- コスト
 - 選択肢により兆円オーダーの差異が生じ得るため、最小化を目指す。
- 期間
 - 次世代への負担を最小限とすべく、極力短期収束を目指す。
- 国際的コンセンサス
 - 完全回収断念の選択には、その異例さを鑑み、国際的な事前了解を求める。
- 利益相反問題
 - 復旧プロジェクトが大型化するほどプラント・メーカーは利益を得、国は多額の支出(国民の納税)を強いられることになるため、復旧プロジェクトの概念の決定は、国の主導(第三者のコンサルタントによるフィージビリティ・スタディも可)によるべき。施工業者の選定には、国際入札も考慮。基本は、実費精算契約ではなく設定価格契約であるべき。

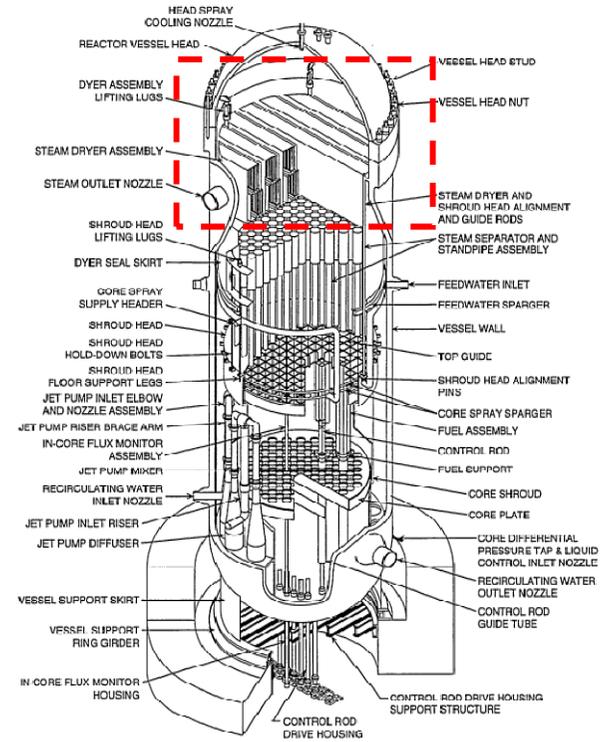
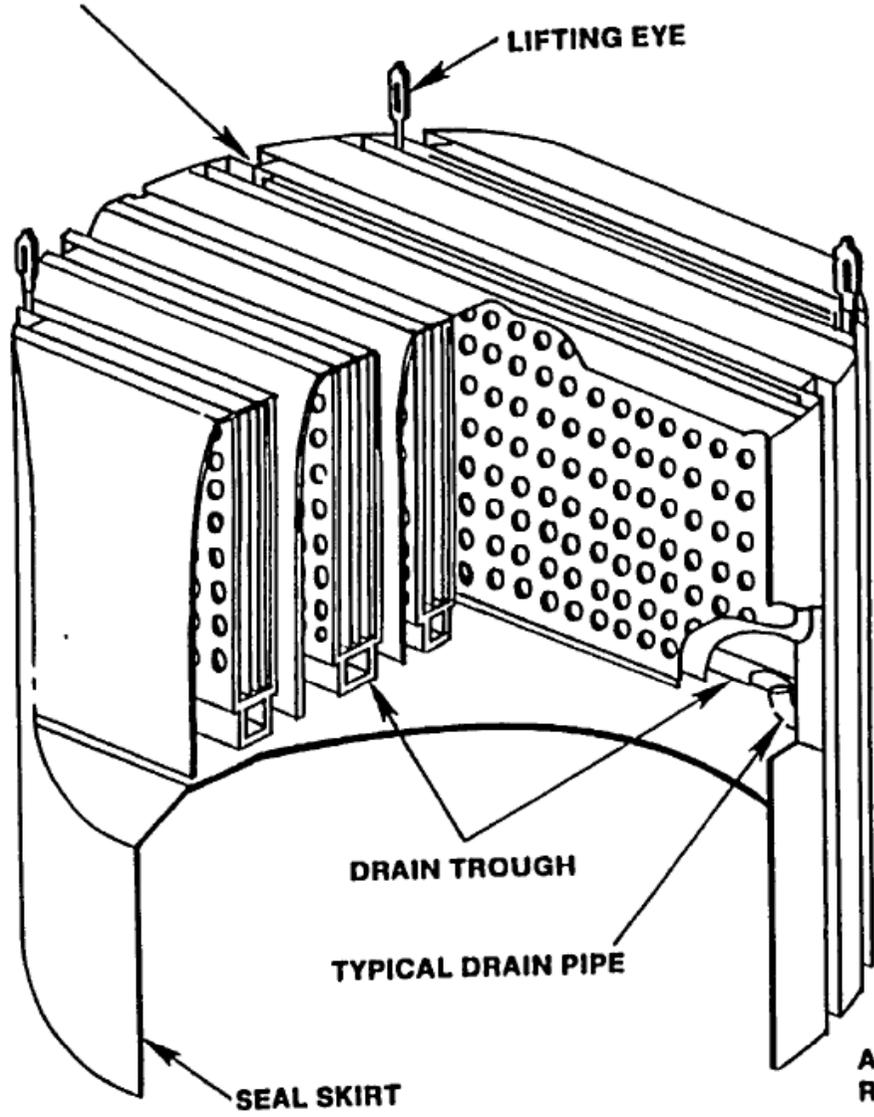
想定される施設の損壊状況

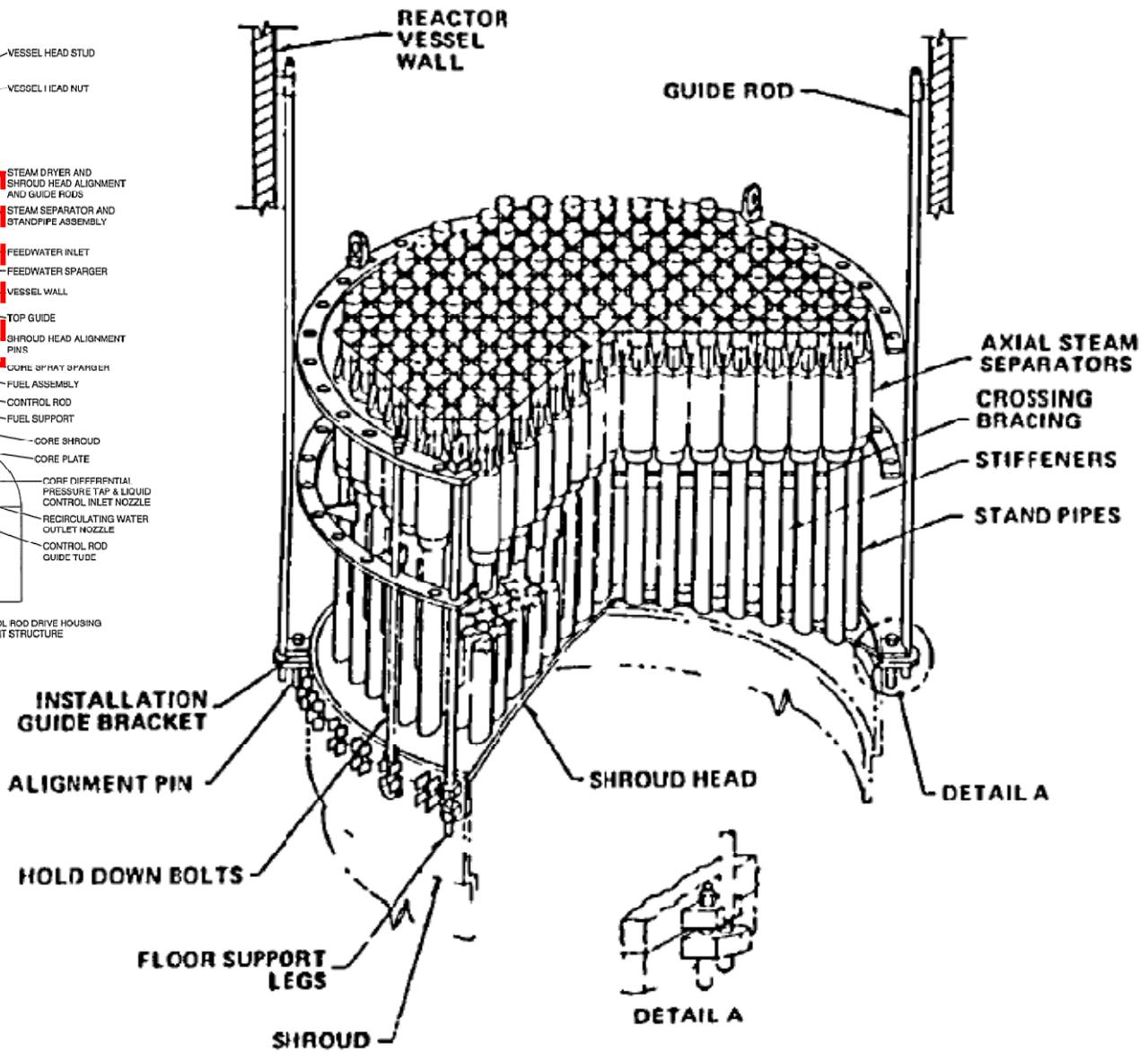
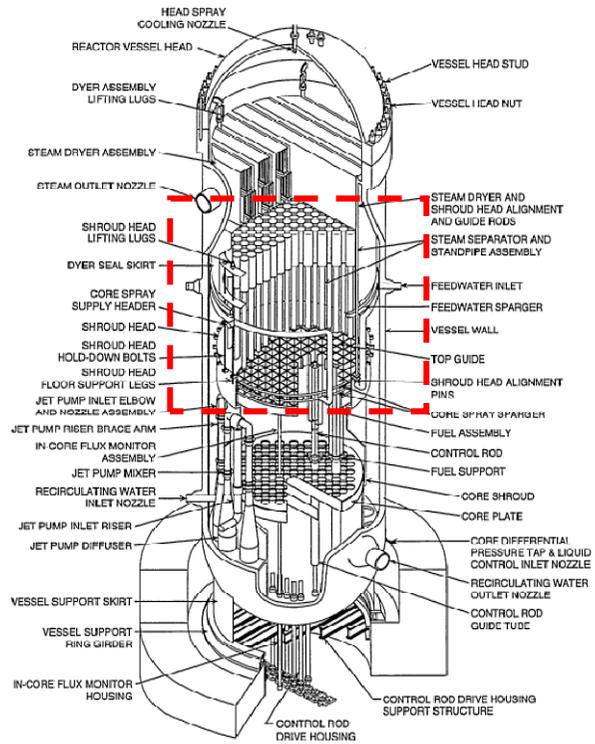
- 1、2、3号機の原子炉
 - 炉心が大破
 - 破砕片が炉底部に堆積
 - 炉底部の貫通部が損傷
- 1、3号機の格納容器
 - 機器ハッチ、電気ペネトレーションなどからの漏洩
- 2号機の格納容器
 - 圧力抑制室が大破
- 1、2号機の使用済燃料プールに保管されている燃料
 - 健全、又は、軽微な損傷
 - 熱的に損傷する可能性は考え難い
- 3号機の使用済燃料プールに保管されている燃料
 - 熱的損傷の可能性あり(その場合には大量に及ぶ範囲)
- 4号機の使用済燃料プールに保管されている燃料
 - 熱的損傷、被覆管の破損、破砕片の散乱、燃料プール外への散逸

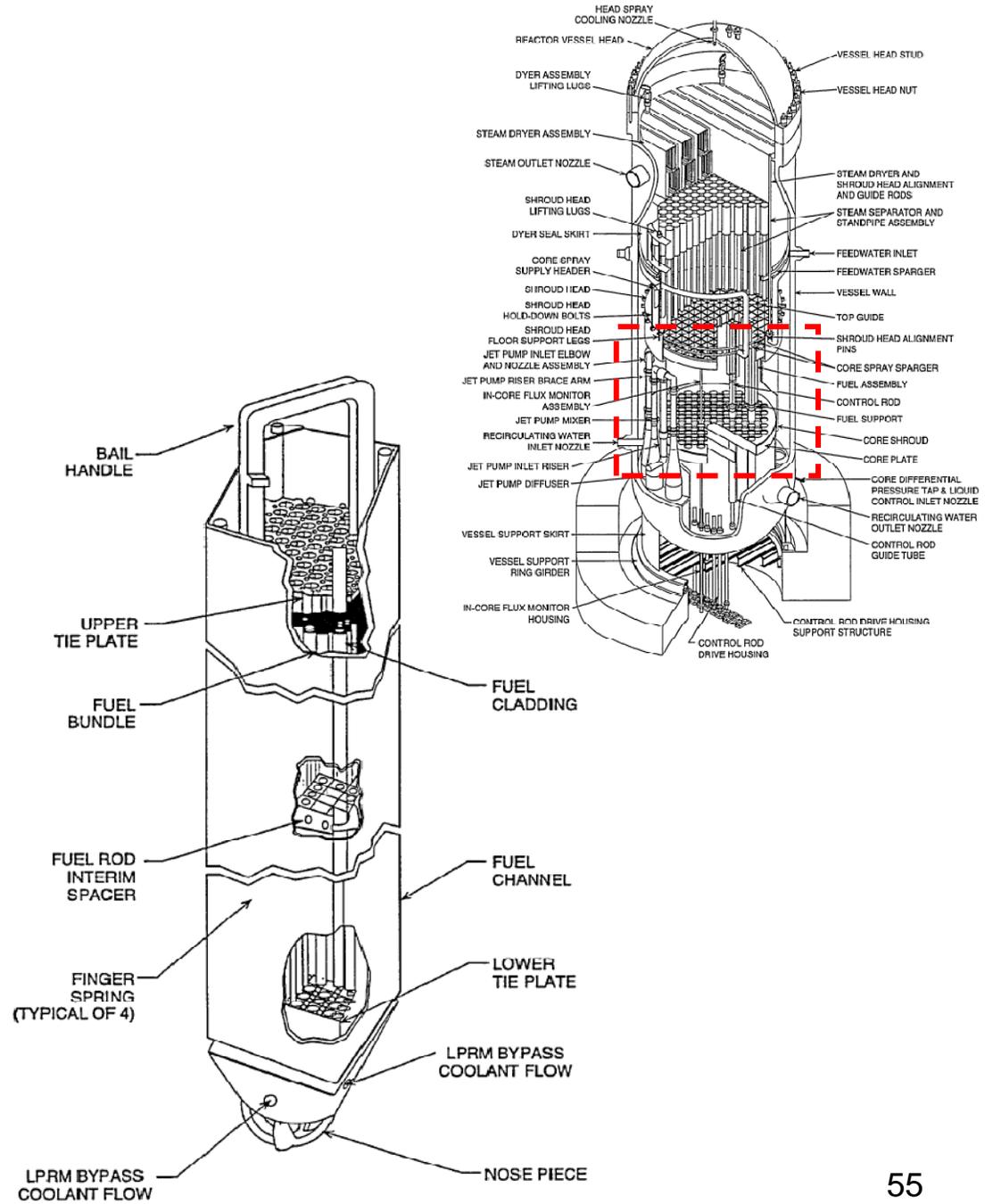


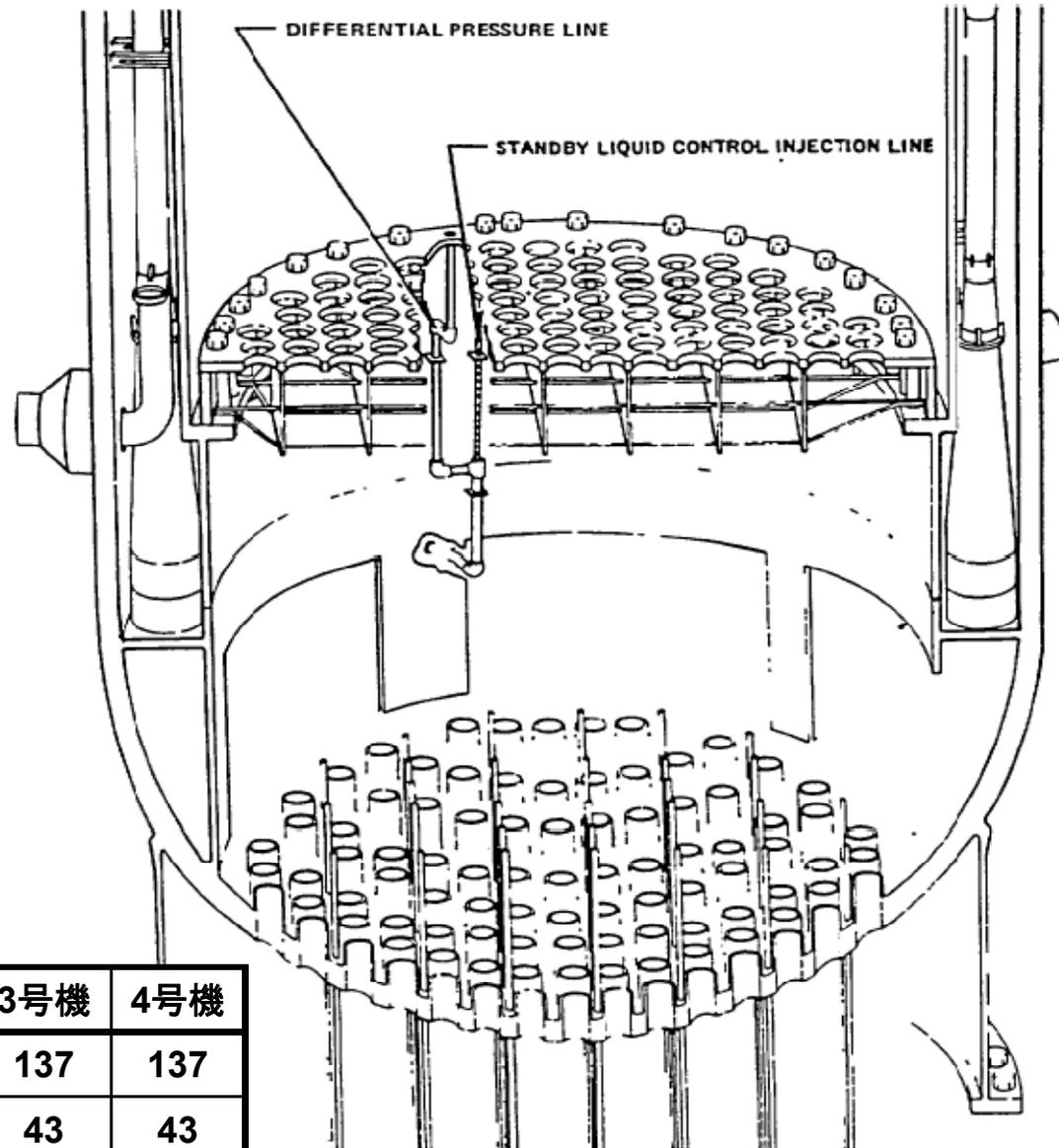
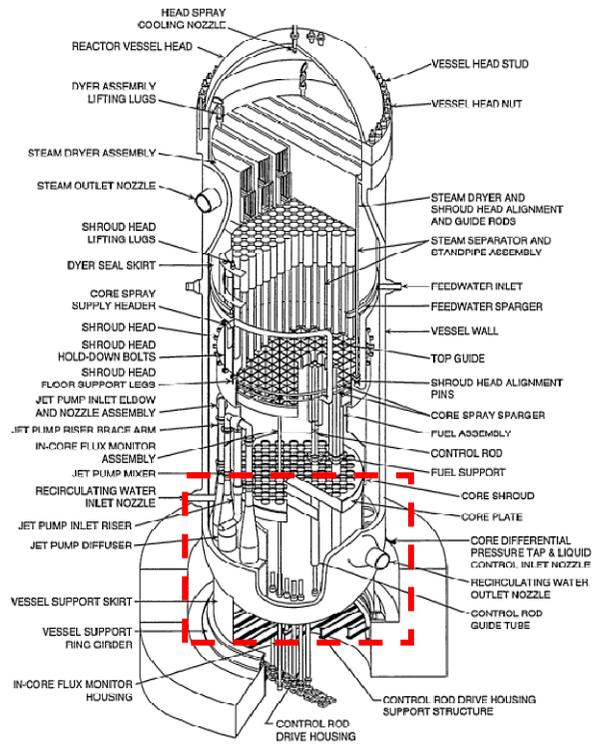


ALIGNMENT ROD SLOT







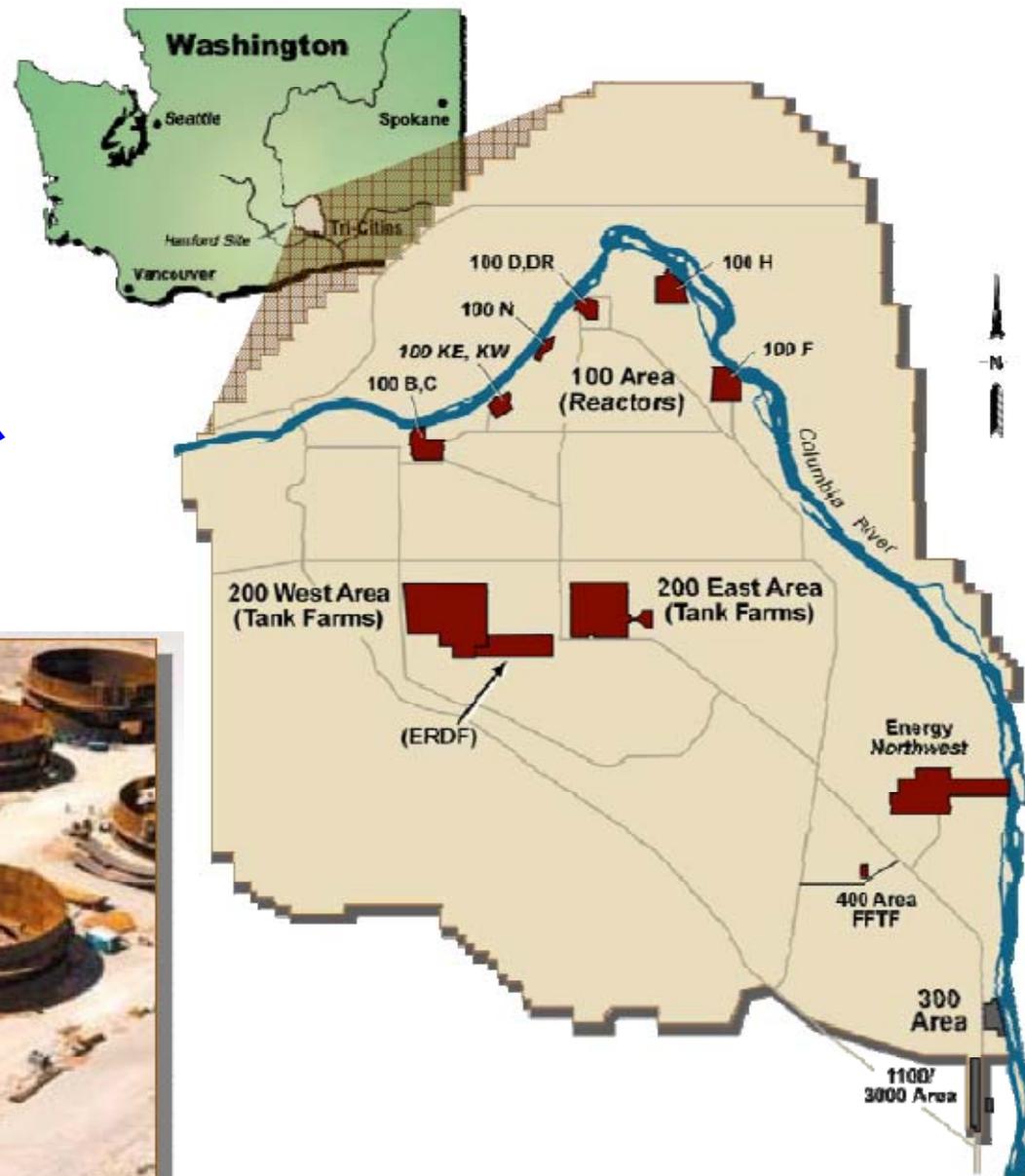


原子炉压力容器 炉底部貫通箇所

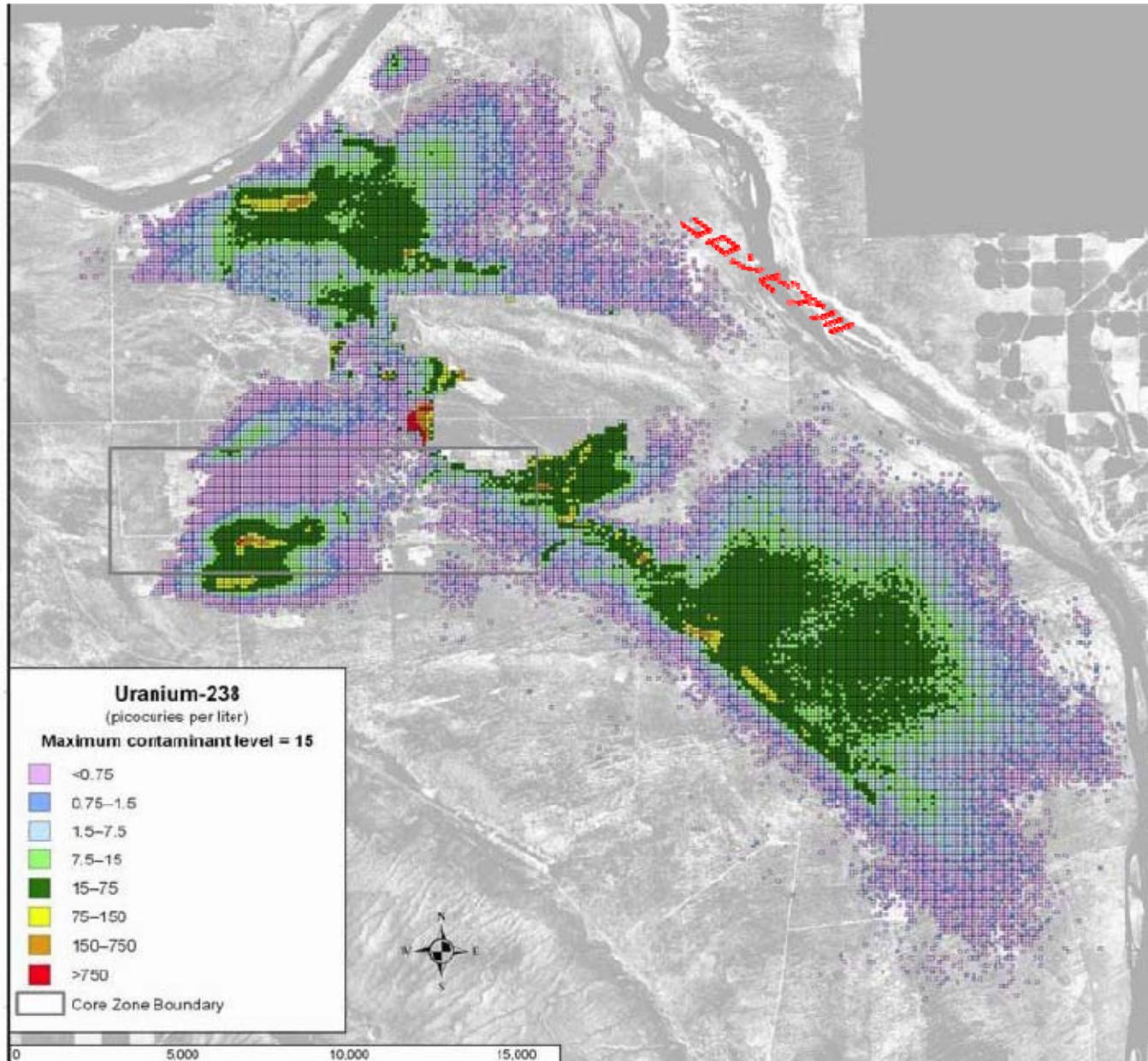
	1号機	2号機	3号機	4号機
制御棒駆動機構	97	137	137	137
炉内中性子検出器	34	43	43	43
ドレン・ライン	1	1	1	1

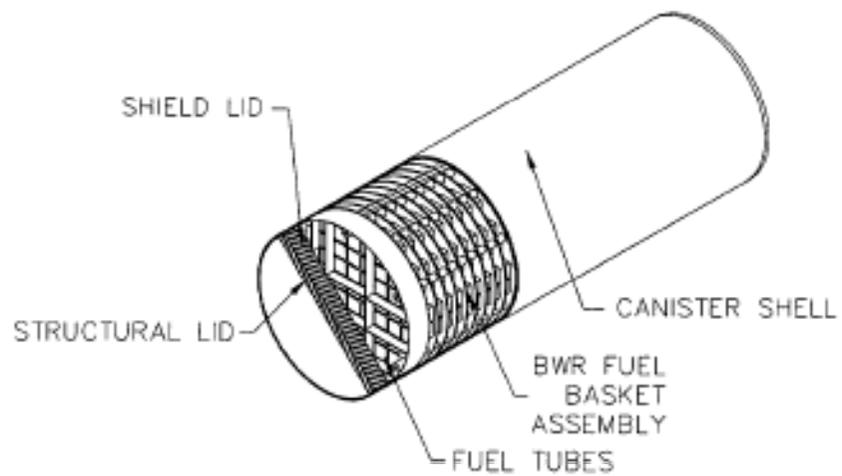
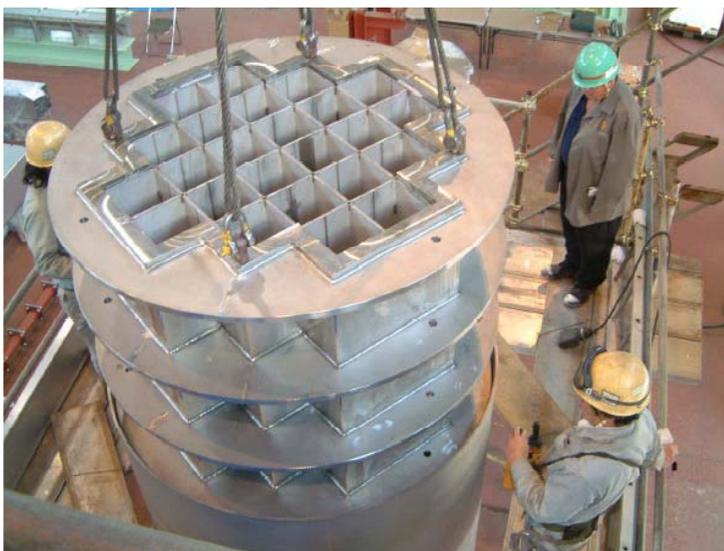
177基のタンクにある5300万ガロンの液体廃棄物が廃液処理プラントの操業待ち。

- ・ 合計9700本のキャニスターに充填。年400本発生。
- ・ セシウムとストロンチウムは、1900本のカプセルに封入しプール内保管。



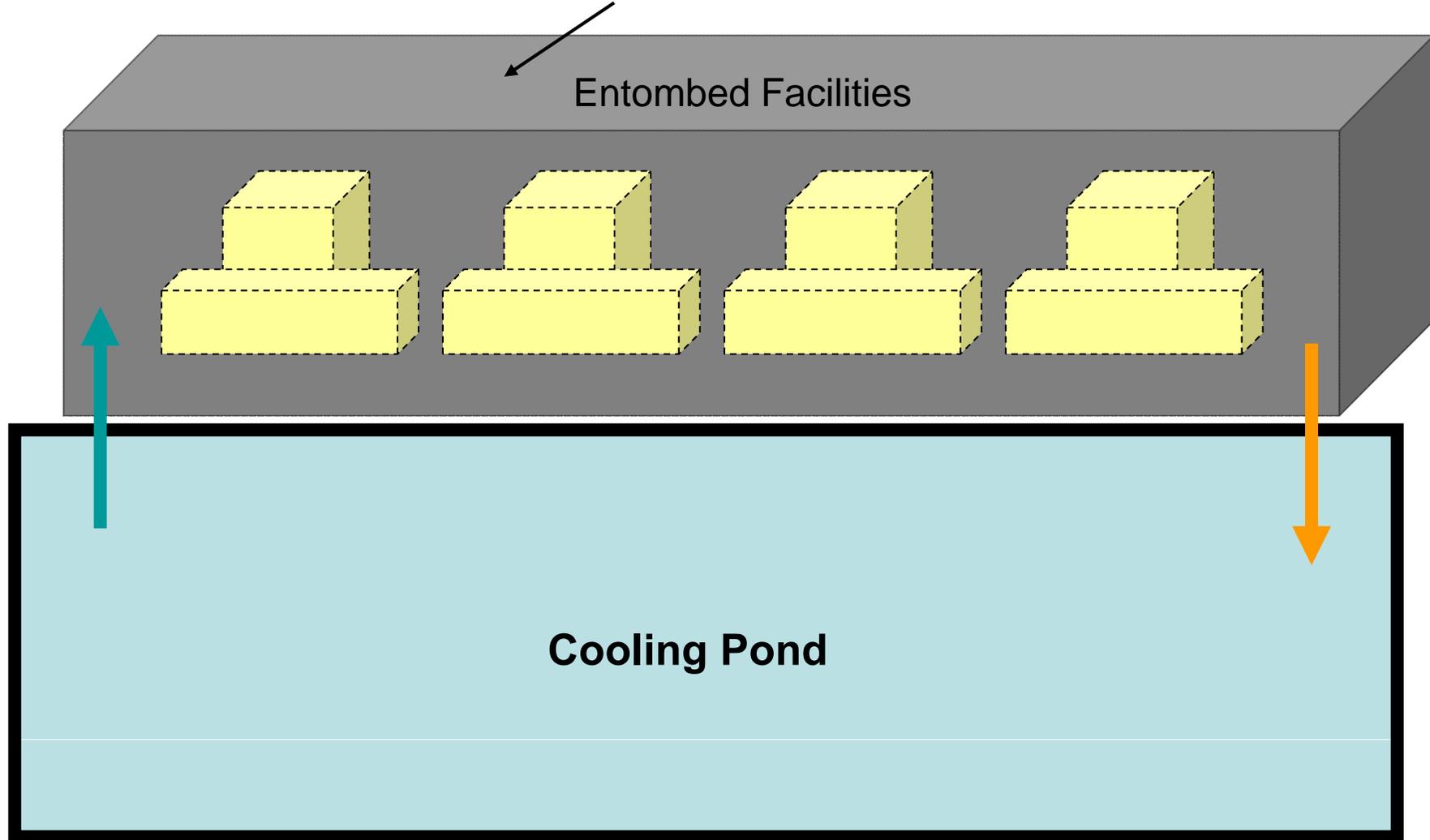
コロンビア川に沿って広がるHanford 施設の汚染





石棺化概念図(例)

内部に冷却カナルを布設



太平洋