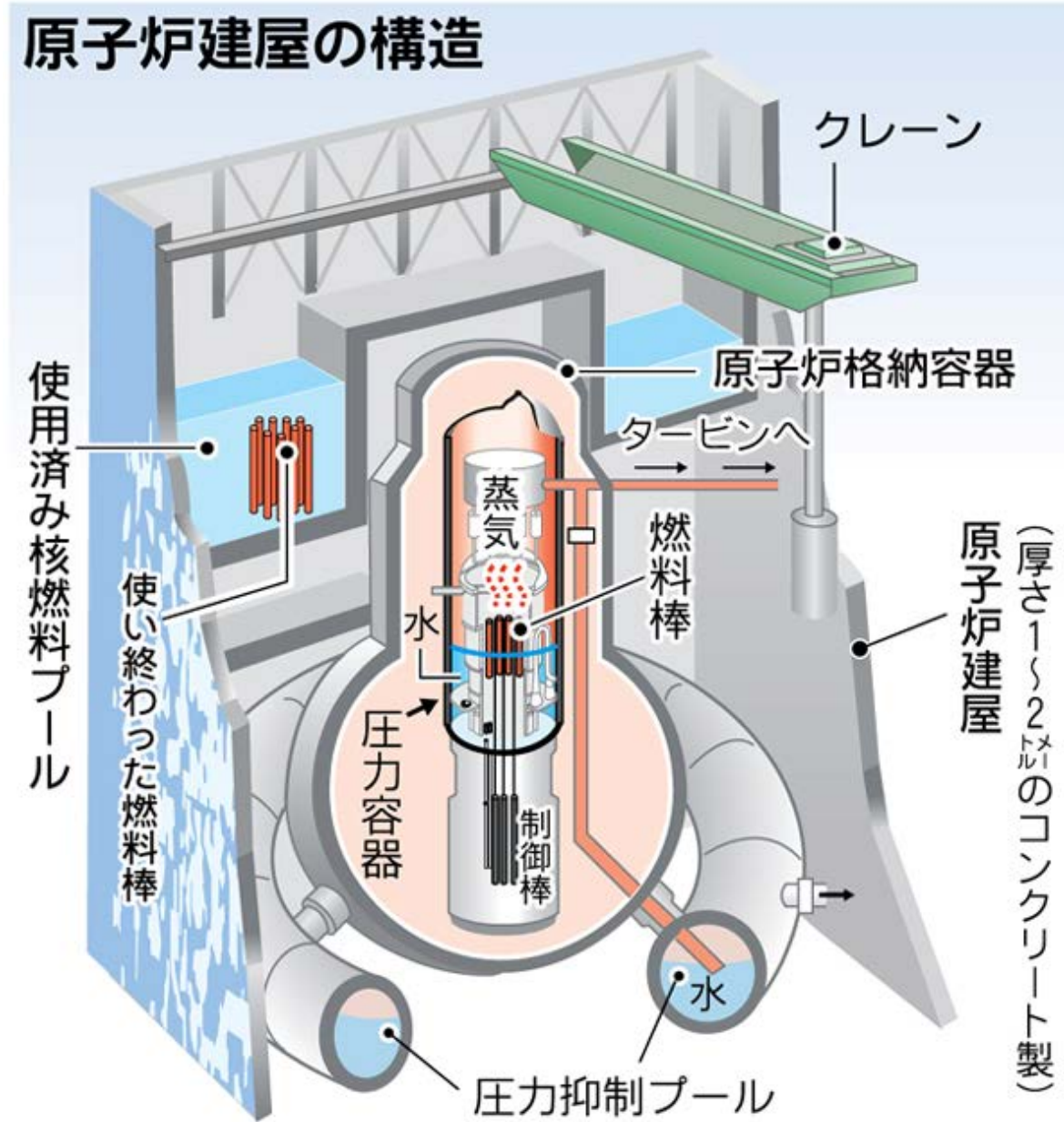


# 福島第一原発事故

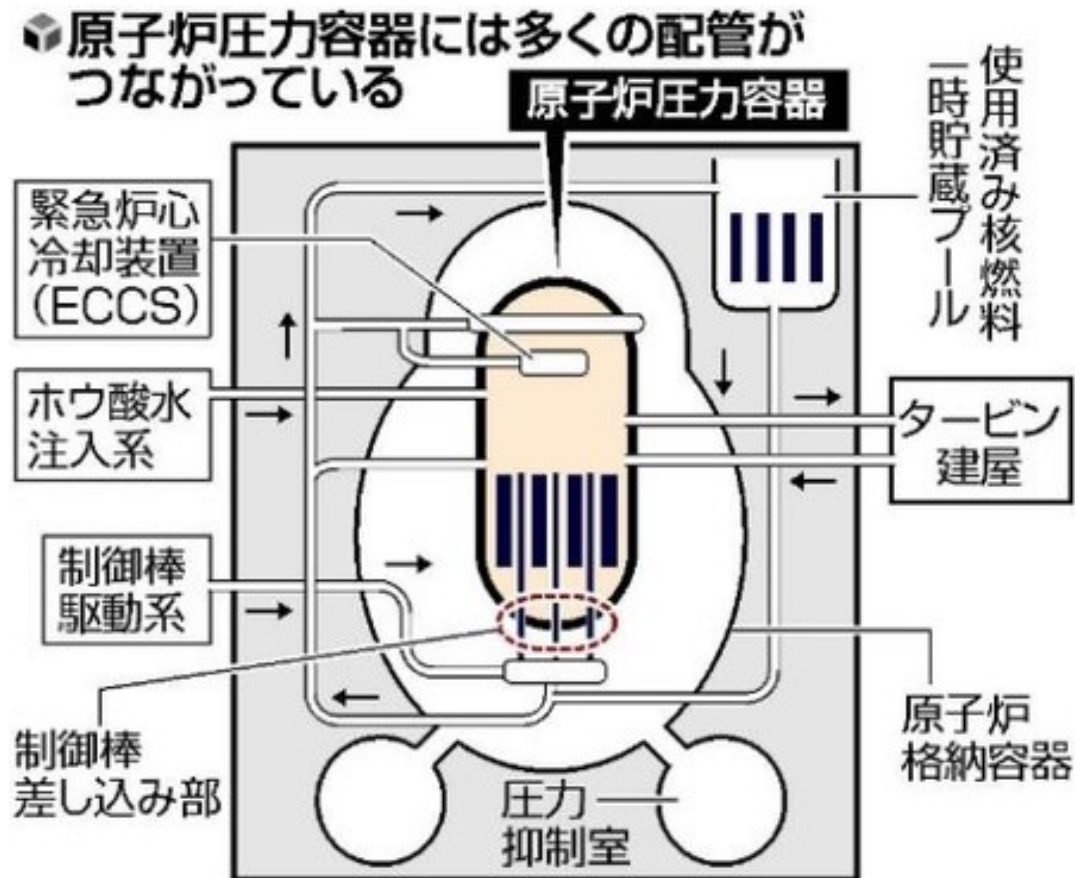
-原因、経過、除染、廃炉工程-

1. 福島第一原発の構造
2. 事故の原因
3. 事故の経過
4. 事故後の対応
5. 放射性物質の放出状況と今後の影響
6. 廃炉工程
7. 原子炉の冷却と汚染水問題
8. 福島原発事故が全てを変えた  
—事故の国内外への影響—

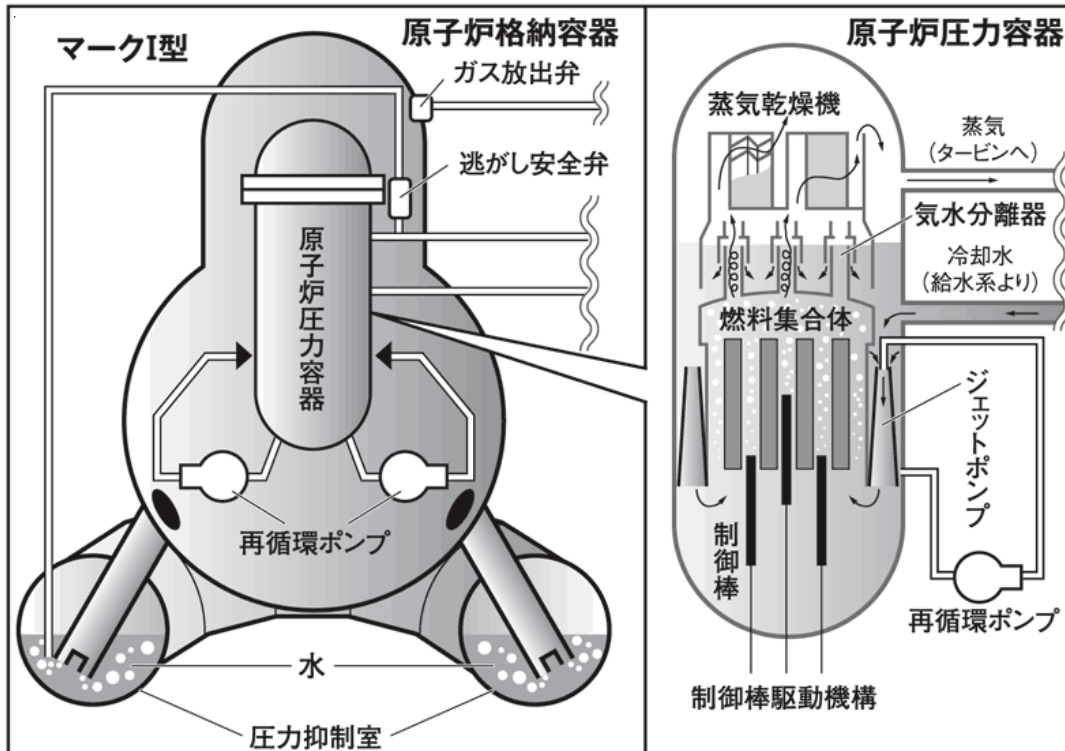
# 1. 福島原発の原子炉の構造(沸騰水型軽水炉, Mark I 型)



# 実際の圧力容器には多くの配管がつながっている



<http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20110330-00000847-yom-sci.view-000>



压力容器：厚さ約16センチの鋼鉄製の容器

格納容器：厚さ約3センチの鋼鉄製の容器

厚さの差異は、压力容器内における中性子による  
炉壁の脆性への対策のため。

→老朽化による脆性遷移温度の上昇という問題

**融点**：燃料棒(2800度)、燃料棒被覆材(ジルカロイ2、1850度)、  
制御棒(Hf, 2222度)、鋼鉄(1535度)

## 2. 事故の原因

### (1) 背景—想定外か事実認知無対応か

当初、想定外の自然要因(巨大地震, 津波)と主張されたが、地震などによる長時間にわたる外部電源喪失, 非常用電源喪失の可能性が事故数年前に国会にて野党より指摘されていた。

津波についても(数百年前の)貞観津波の規模についても研究者から指摘されていた。

そして、事業者(東京電力)も認識をしていたが、現実的可能性は高くないなどとして、対策をとっていなかったことが判明した。その背景にはコスト増を回避したいことであった可能性が高い。

### (2) 事故の直接的原因は何か

津波主因説と地震・津波複合原因説があり、決着はついていない。

例えば政府事故調報告書など、津波説の立場からは、測定データからは配管の大口径破砕は考えにくいとしているが、小口径の破砕から始まり、それが拡大した可能性まで否定はできないとしている。

一方、国会事故調の報告書では、配管の小口径の破砕や原子炉への津波第二波到達時刻と非常用電源の喪失時刻の順序や際どい時間差の分析など地震動の有意の影響を否定できないとしている。

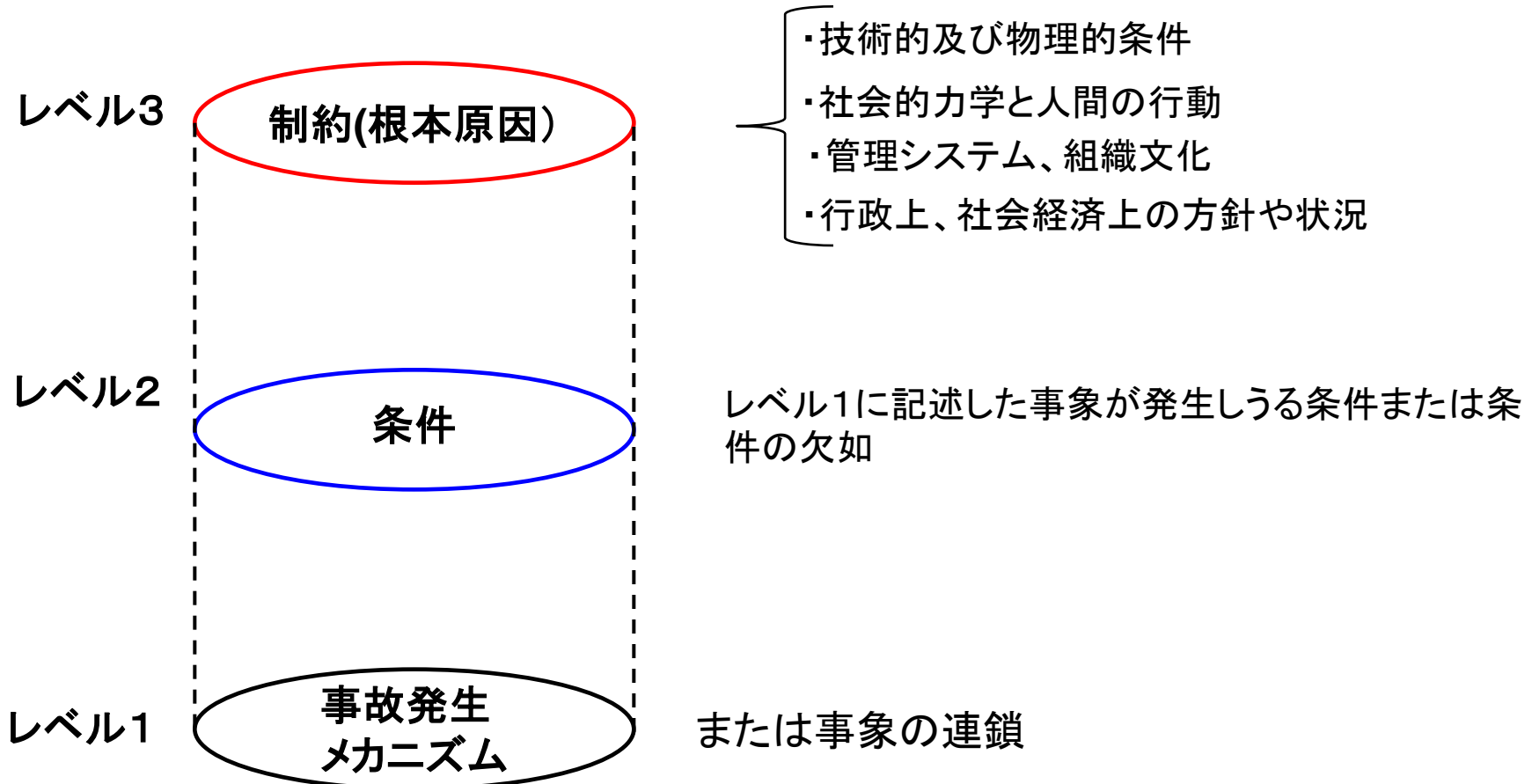
「津波主因説、地震動・津波複合説」とかいうのは、もはや主たる争点ではない。

現在までに、あらゆる面において、日本の原発が「無防備」状態にあり、しかも今日も解消されていないことが、国民の間で共通認識になっているから。」という見解もある。

# 事故原因の階層モデル

因果関係への階層的アプローチ

事故の原因がただ1つであることはめったにない！



ナンシー・G・レブソン (著), 松原 友夫他訳  
「セーフウェア 安全・安心なシステムとソフトウェアを目指して」翔泳社、  
2009年。P.49。

# 3. 事故の経過

## 基礎知識

- ・原子炉に蓄積されている放射能は莫大なものである。電気出力100万キロワット  
の原発を1年間運転すると、広島原爆による放射性物質の約1000以倍上の放射性  
物質が生成する。
- ・原子炉停止後(核分裂連鎖反応定後)も、燃料はそれまでの核分裂により生じた  
核分裂生成物が放射線を出しながら崩壊(壊変)をつづけ、膨大な崩壊熱を出す。  
これは周辺の冷却水を蒸発させるだけではなく、燃料自身や周辺の構造物まで  
溶解してしまうほどのエネルギーになる。このため、崩壊熱が十分に弱まるまで、  
炉心の冷却を長期間、続ける必要がある。
- ・米原子力委員会研究報告書WASH-1400(Reactor Safety Study,1975),  
米原子力規制委員会研究報告書NUREG-1150(Severe Accident Risks:  
An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants,1990)によれば、  
非常用ディーゼル発電機の機能喪失から、わずか3時間弱で炉心溶融がは  
じまり、遅くとも数時間から数十時間以内にメルトダウンする。原子炉圧力容  
器や原子炉格納容器の損壊とともに、さらに、すべての原子炉建屋の最上階  
に設置されている使用済み燃料貯蔵施設の燃料も溶融する。
- ・燃料被覆材に使用されている合金ジルカロイ中のジルコニウムは約800 度以上で  
水と反応し、水素ガス生成。この化学反応は発熱反応なので、さらに反応を促進する。



# 1号機: 発生事象の時系列

地震(震度6)の発生3.11 14:46

原子炉自動「停止」      全外部電源(交流)の喪失

非常用発電機の自動起動

非常用復水器による原子炉冷却

津波第二波の襲来 (3.11/15:35+?)

全非常用電源(交流・直流)の喪失 (3.11/15:35+??)

注水機能の喪失・ベント機能の喪失

格納容器の圧力上昇

圧力容器の水位低下 = 燃料の露出開始

手動ベント

燃料棒の重大な損傷、水素の発生

核分裂生成物と水素の格納容器から漏洩、水素ガスの建屋上層階への滞留

(原子炉建屋の水素爆発)

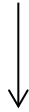
→ 核分裂生成物の建屋外への放出

?



# 4号機:発生事象の時系列

地震(震度6)の発生3.11 14:46



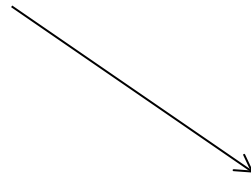
津波第二波の襲来 (3.11 /15:35+?)



全非常用電源(交流・直流)の喪失(3.11/15:35+??)

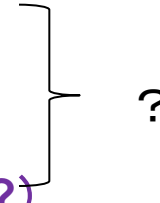


原子炉建屋の爆発3/15 6:14ころ



核分裂生成物の建屋外への放出?

定期検査中で、  
燃料は燃料プール中  
に移動中であった。

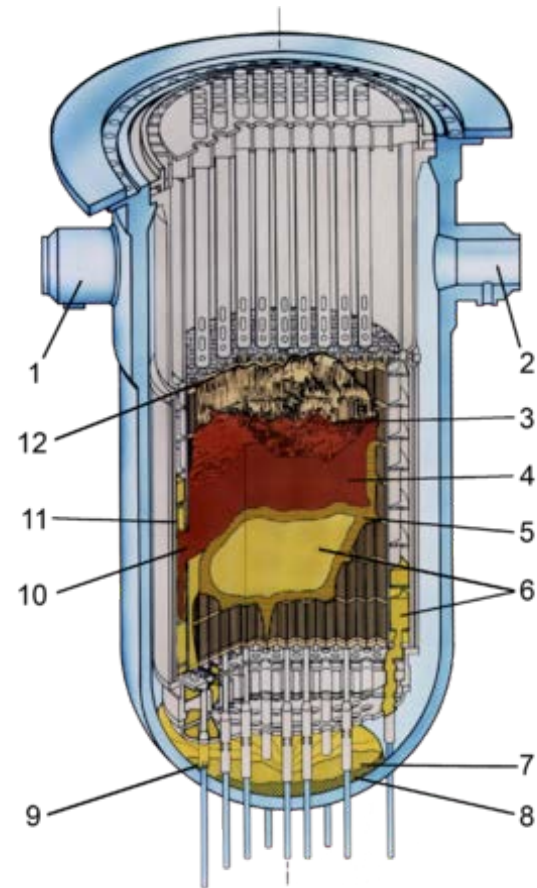
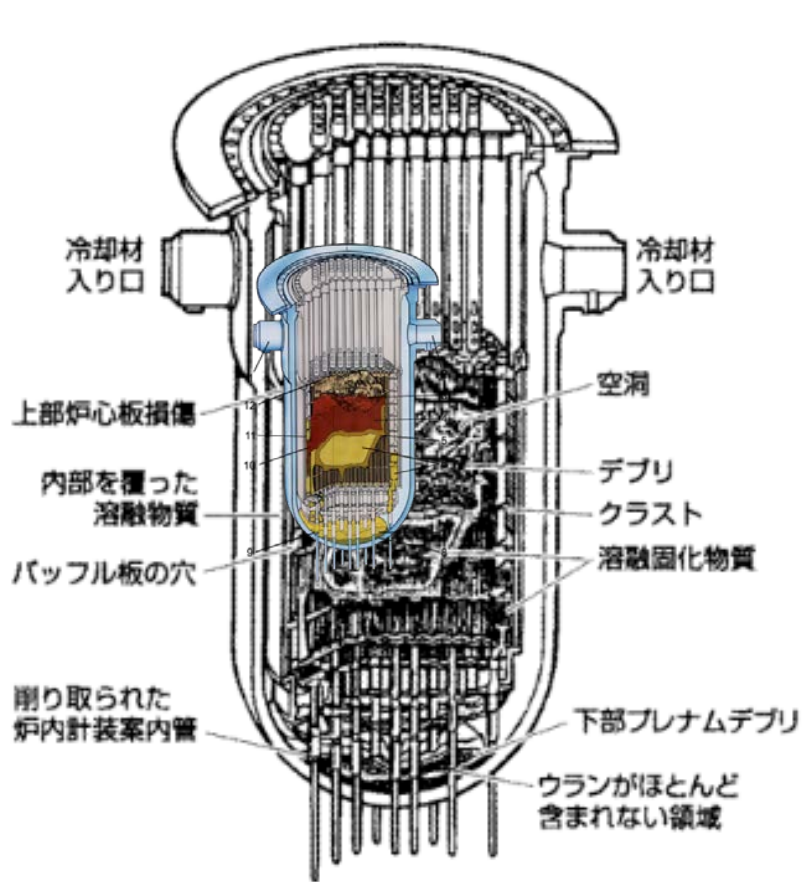


(3号機の爆発が、共有している  
配管を通じて、4号機にも波及?)

## 格納容器底部侵食の概念図



# 参考: 1979年のスリーマイル島原発事故後の原子炉の状態



## 4. 事故後の対応

事故後の政府, 東電, 原子力専門家などの対応

- ・重要免震棟は現地対策拠点として機能。  
2007年の中越沖地震被害の教訓として2010.10完成
- ・オフサイトセンター機能せず.
- ・想定外の水素爆発
- ・初期段階で東電首脳部は海水注入へのためらい. 約4千億円の原子炉廃炉の恐れを回避したかったようである.
- ・非常用システム作動性の認識不十分, 実証性欠如(安全神話の崩壊)
- ・原子力専門家の認識不適切, 能力不十分(安全神話の崩壊)
- ・東電だけに対応させ, 国家的対応欠如または不適切: 米国政府の厳しい見方.

# 事故の「収束」の見通し

<福島第一原発付近について>

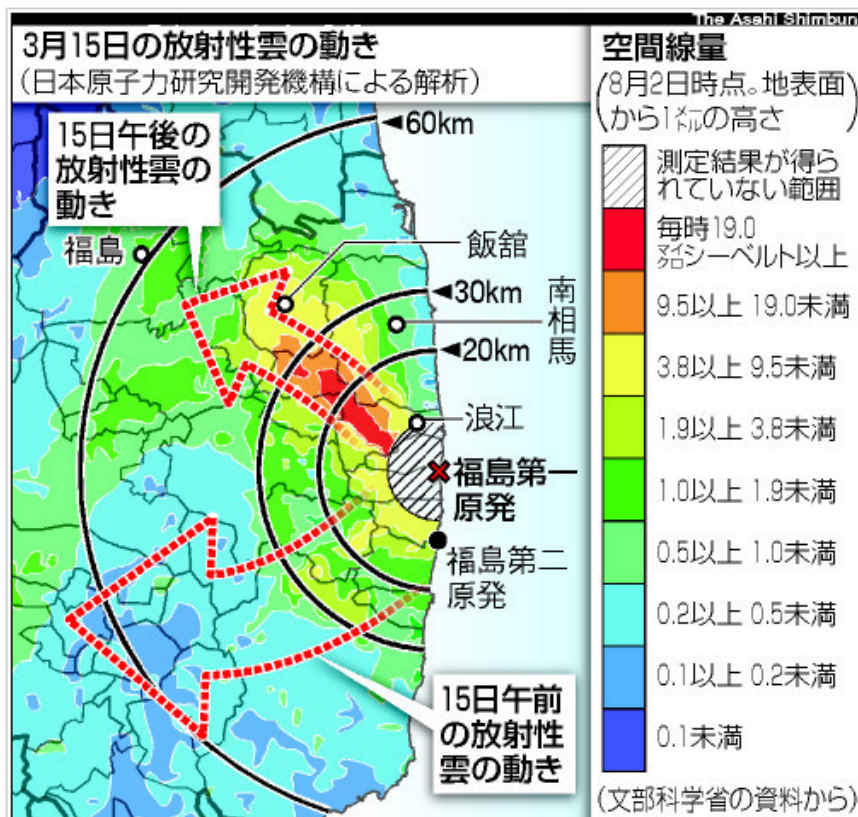
- 1) 放射性物質の放出を止めるために、その放出箇所の特が必要であることは自明である。しかし、高い放射能のために、その作業が困難である。
- 2) 放出箇所の特定の可否に関わらず、放射性チェルノブイリ原発型の石棺に移行すべきである。しかし、単純にコンクリートで密閉すると、放射性物質から長期間放出される崩壊熱が閉じこもり、燃料棒がさらに溶融し、再び水素爆発しかねない。
- 4) 崩壊熱はこの先何年も何十年も長期間にわたり放出されるので、その崩壊熱を管理しながら、放射能を遮蔽し、放射性物質を閉じ込める、それも水ではない方法にたどりつかねばならない。

## 5. 放射性物質の放出状況と今後の影響

要約:

- ・内蔵された放射性物質の約2-3%程度放出.
- ・放出のピークは3月15日, 22日頃であって, 水素爆発の時刻とはずれている.

### 3月15日(2011年)の放射性雲の動き



# セシウム放出量「政府推計の3倍」 欧米の研究者ら

<http://www.asahi.com/science/update/1028/TKY201110280642.html>

## 福島第一原発からのキセノン133とセシウム137の放出： ソースターム、環境への広がり、沈着の確定

著者：A. Stohl [1], P. Seibert [2], G. Wotawa [3], D. Arnold [2,4], F. Burkhardt  
S. Eckhardt [1], C. Tapia [5], A. Vargas [4], and T. J. Yasunari [6]

Atmos. Chem. Phys. Discuss., 11, 28319-28394

### 東京電力福島第一原発の事故

- ・本研究では、**希ガスであるキセノン133 ( $^{133}\text{Xe}$ )** および **エアロゾル結合セシウム137 ( $^{137}\text{Cs}$ )** という2種類の同位元素の放出を測定
- ・放出量の初期推定を、大気移動モデルとELEXPART、日本、北米その他の地域の数十カ所の観測地点の測定値データを加えて逆モデリングにより改善した。
- ・**降下物は大部分が海に落ちたが、19%は日本列島に、2%は日本以外の土地に落ちた。**



# 今後数十年間への影響の評価にはかなりの幅.

チェルノブイリ原発事故—影響評価においても大きな差異.

- 1) 国際原子力機関 (IAEA)
- 2) 世界保健機構 (WHO)
- 3) 国際放射線防護委員会 (ICRP)
- 4) ニューヨーク科学アカデミー「チェルノブイリ大惨事, 人と環境に与える影響」2009年.  
[http://www.mext.gp.jp/b\\_menu/shuppan/sonota/attach/1313004.htm](http://www.mext.gp.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1313004.htm)
- 5) 核戦争防止国際医師会議 (IPPNW)「チェルノブイリによる健康被害—大惨事, 人と環境に与える影響から25年後」 2012年.
- 6) 米国科学アカデミーの医学部門は低レベル電離放射線の健康影響の研究報告(2015)  
[Research on Health Effects of Low-Level Ionizing Radiation Exposure](http://www.nap.edu/catalog/18732/research-on-health-effects-of-low-level-ionizing-radiation-exposure?utm_source=NAP+Newsletter&utm_campaign=e45147f6f0-Final_Book_2015_1_5_18732&utm_medium=email&utm_term=0_96101de015-e45147f6f0-102703429&mc_cid=e45147f6f0&mc_eid=10e73b7d28)  
[http://www.nap.edu/catalog/18732/research-on-health-effects-of-low-level-ionizing-radiation-exposure?utm\\_source=NAP+Newsletter&utm\\_campaign=e45147f6f0-Final\\_Book\\_2015\\_1\\_5\\_18732&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_96101de015-e45147f6f0-102703429&mc\\_cid=e45147f6f0&mc\\_eid=10e73b7d28](http://www.nap.edu/catalog/18732/research-on-health-effects-of-low-level-ionizing-radiation-exposure?utm_source=NAP+Newsletter&utm_campaign=e45147f6f0-Final_Book_2015_1_5_18732&utm_medium=email&utm_term=0_96101de015-e45147f6f0-102703429&mc_cid=e45147f6f0&mc_eid=10e73b7d28)

4, 5)では、1-3)が被害を過小評価していると批判.

世界保健機関 (WHO)は、1959年5月28日、国際原子力機関 (IAEA)との間に協定「WHA12-40」を締結。

日本語解説 <http://independentwho.org/jp/>,

<http://besobernow-yuima.blogspot.jp/2012/11/iaeawhowha12-40.html>

英語解説

[http://en.wikisource.org/wiki/Agreement\\_between\\_the\\_World\\_Health\\_Organisation\\_and\\_the\\_International\\_Atomic\\_Energy\\_Agency](http://en.wikisource.org/wiki/Agreement_between_the_World_Health_Organisation_and_the_International_Atomic_Energy_Agency)

## 世界保健機関(WHO)と国際原子力機関(IAEA)との間に協定「WHA12-40」の主な内容:

国際原子力機関と世界保健機関は、提供された情報の守秘性を保つために、ある種の制限措置を取らざるを得ない場合があることを認める。

IAEAとWHOの事務局長は、両者に関連のある全プロジェクトと全プログラムについて、相互に情報を交換することとする。

WHOは、研究、その他全ての活動を含む国際的な保健衛生活動の推進、開発、支援、調整に取り組むWHOの権利を侵害することなく、全世界における原子力の平和利用の研究・開発・実用化を奨励、支援、調整するのは、主にIAEAの義務であることを認める。

両者の一方が、他方にとって大いに重要性のある、あるいはその可能性がある分野でのプログラムに着手する際には毎回、前者は合意の上で課題を解決するために、後者の意見を求める。

→**原発、放射線影響などに関連する問題について、IAEAとWHOは相互に独立な機関とは言えない。**

# 大気環境への放射性核種放出量(の比較)

単位 = PBq(ペタ・ベクレル)(=10<sup>15</sup> Bq)

	福島第一	広島原爆	チェルノ ブイリ	スリー マイル	大気圏内 核実験総量 (1970年)
<sup>131</sup> I	160	63	1760	5.6x10 <sup>-3</sup>	
<sup>137</sup> Cs	15	0.089	85	ほとんど 無し	
放出総量	11,300		13,200		795以上

出典: 中島映至他編「原発事故環境汚染—福島第一原発事故の地球科学的側面」東京大学出版会, 2014年. P. 29, 表1.3

## 6. 廃炉工程の見通し

2011. 10. 29 朝日新聞他

### 福島第一原発の解体廃炉の工程表(原子力委員会)

30年－40年

2011年末：廃炉作業開始

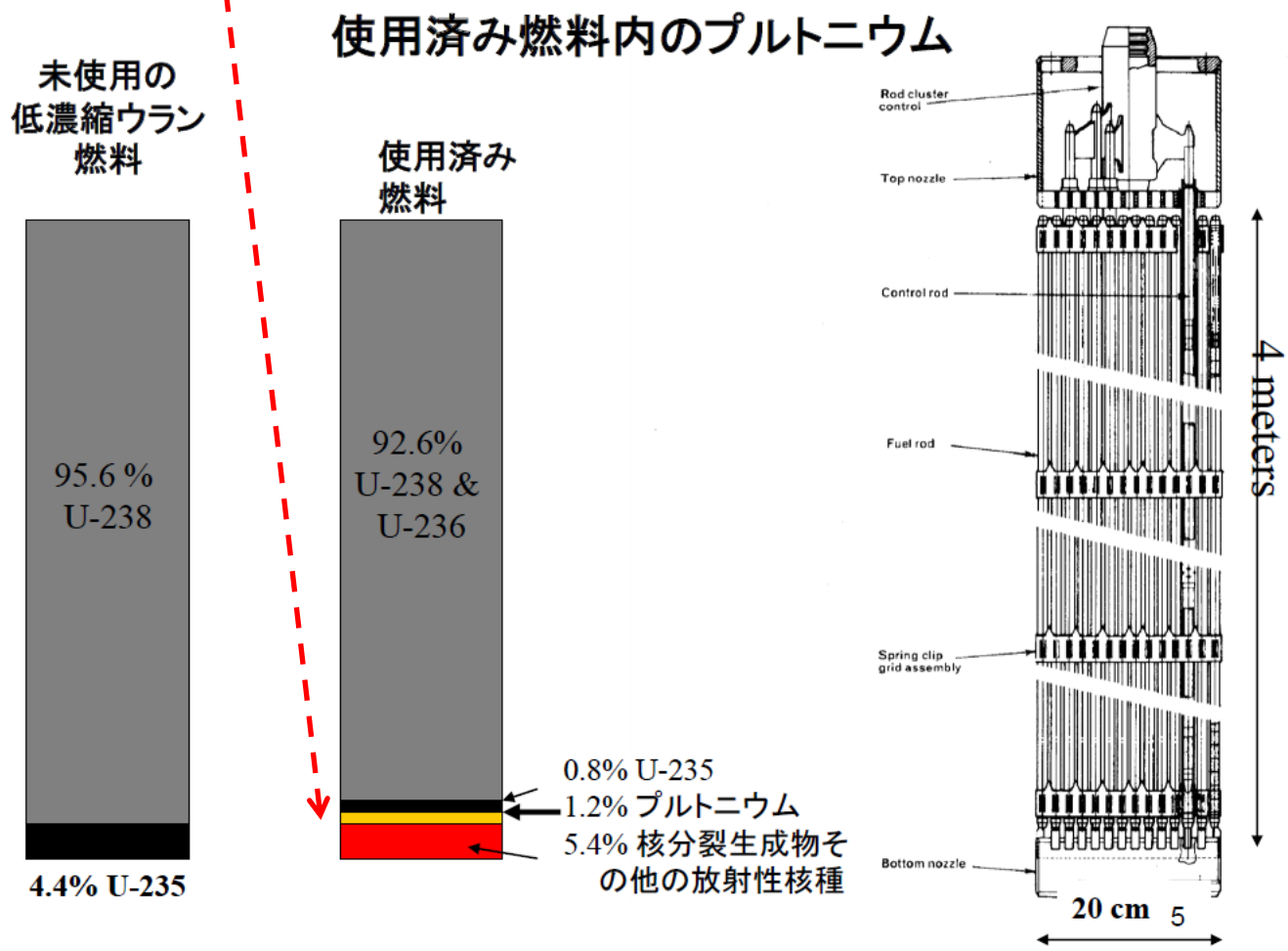
2014年頃：使用済み燃料プールからの燃料取り出し

2021年頃：原子炉から溶けた燃料の取り出し開始

2026年頃：溶けた燃料の取り出し終了

2041年以降：廃炉作業完了

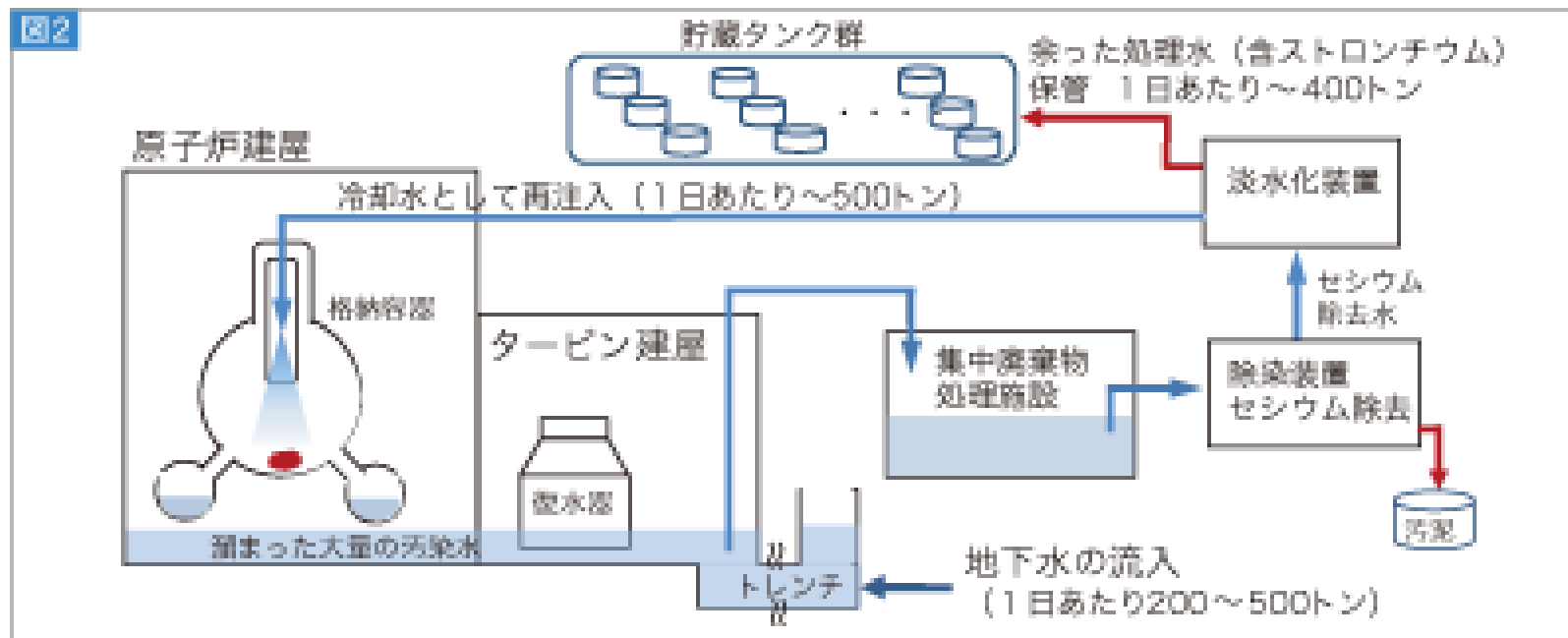
# 使用済燃料内の放射性核種の相対的割合



出典: フランツ・フォン・ヒッペル氏講演資料

「使用済燃料再処理 vs 乾式中間貯蔵」2012年1月東京

# 冷却水循環・処理水貯蔵の概略

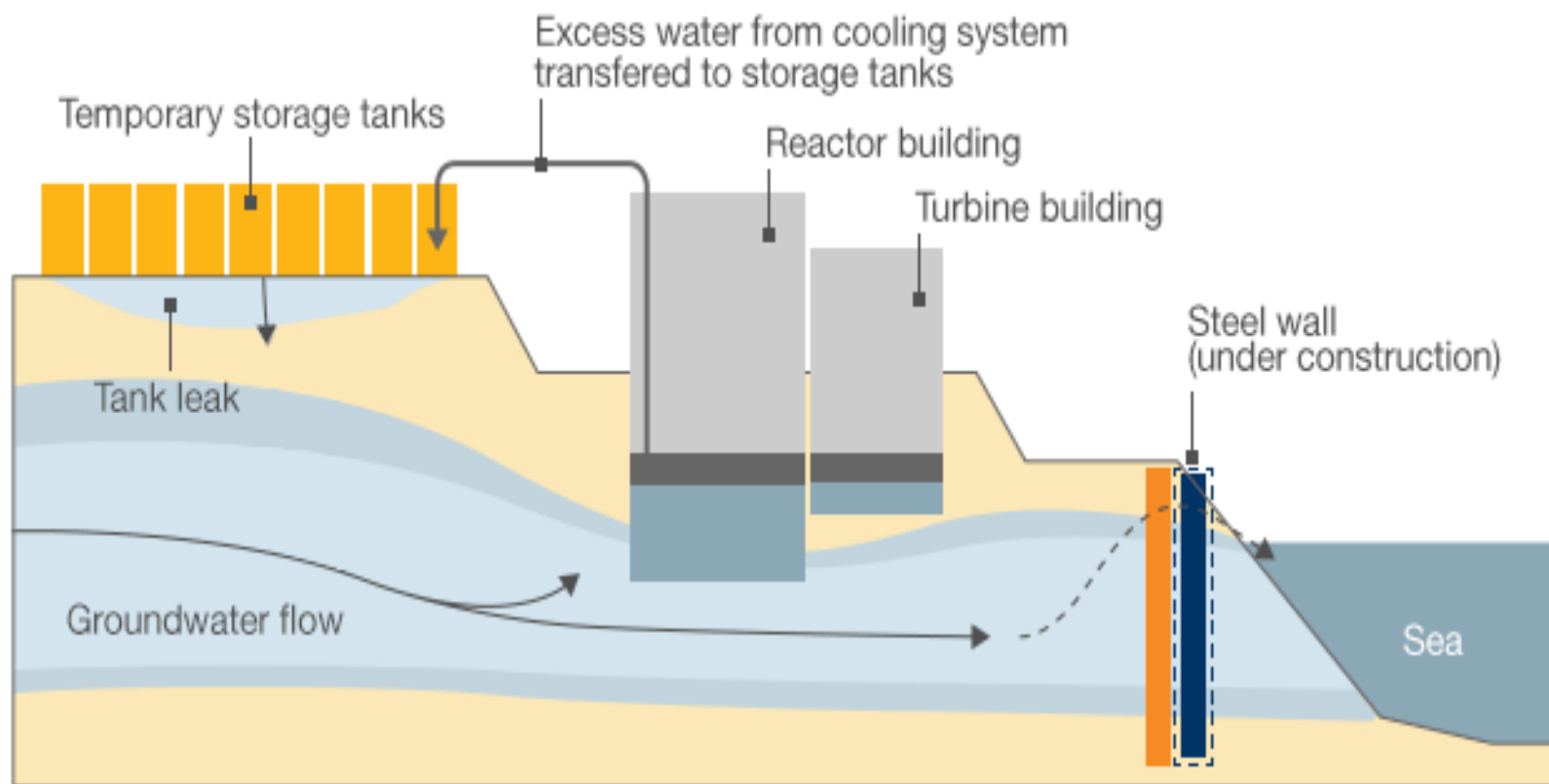


出典: 鈴木史郎「汚染水は何処へゆく」(原子力 あなたはどうする 連載第9回)

<http://www.tjsaga.co.jp/tjs/gensiryoku/009.html>

# 地下水等の断面図(概略)

## Groundwater contamination at Fukushima



Source: Reuters

出典 BBC 22 August 2013

<http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-23779561>



## 2.5 どうするか？

東電の対策(朝日新聞2013. 9.18など)

- ①地下水対策(緊急対策)
- ②サブドレン(抜本対策)
- ③凍土壁 (抜本対策)
- ④坑道内の汚染水除去 (緊急対策)
- ⑤護岸の地盤改良 (緊急対策)
- ⑥海側の遮水壁 (抜本対策)

特に③：前例のない規模であること、大きい維持経費など諸困難あり。

「処理水」保管対策

保管タンク：「フランジ型」から「溶接型」への転換急務。

漏れが見つかったタンクは鋼板をボルトで締め込んでつくる「フランジ型」。

タンクそのものの劣化

雨水混入防止対策：敷地全体の地表をコーティング加工するなど。

汚染水処理対策委員会 (政府) の地下水流入抑制対策：

東電の対策が十分機能しないリスクに備えた抜本対策の柱として、

プラント全体を取り囲む陸側遮水壁の設置。この遮水壁として、凍土遮水壁、粘土系遮水壁、クラベル(碎石)連壁の3案を検討し、遮水効果、施工性などを考慮して、凍土遮水壁が適切と判断した。

## 地下水流入抑制対策の基本的検討

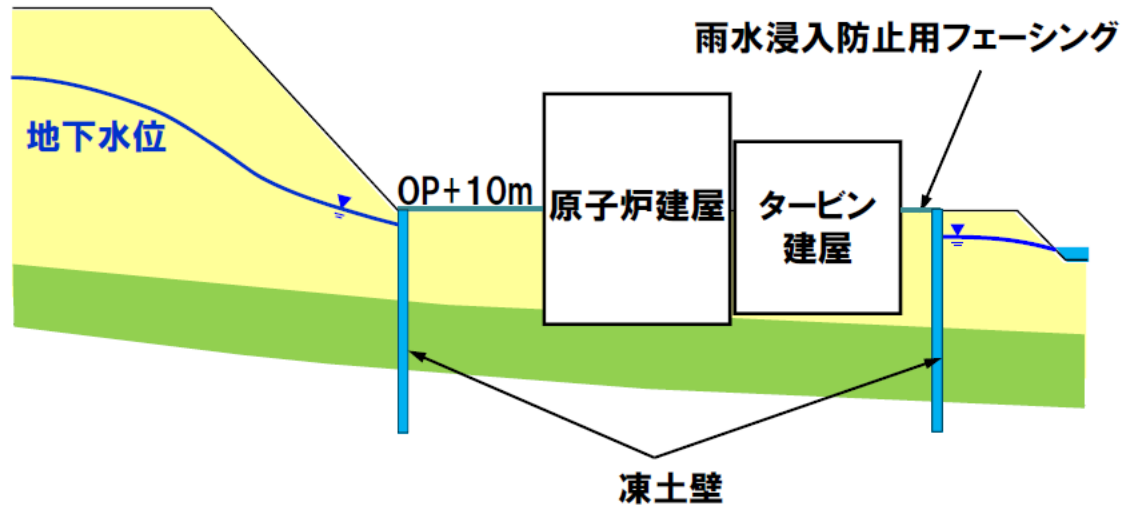
- (1) 水理地質構造と地下水挙動
- (2) 地下水抑制対策の技術的検討
- (3) 暫定的または永久保存物としての地下貯水槽および汚染水浄化装置の建設

「汚染水のタンカーによる東電・柏崎刈羽原発への移送と処理案」について

東電・柏崎刈羽原発に高い性能の汚染処理装置があるのであれば、同じかそれ以上の性能の装置を福島第一原発敷地内に設置し、稼働させることがより現実的で効果的な対策となるのではないか。

## 2. 全体計画

### 断面計画 (A-A断面)



適切な深度まで凍土壁で取り囲み、建屋内に流入する地下水を遮断

# 凍土壁構想の課題と問題点

「凍土遮水壁」に汚染水漏洩の恐れがあるなど技術的に未確立なまま、国は320億円の建設費用を投じようとしている。10年以上という長期間の運用実績もなく、いわば実証実験的な建設プロジェクトであり、巨額の税金を投入した「モグラ叩き」、壮大なムダ遣いになりかねない。

冷却するための莫大な電気が必要

原発「凍土壁」は巨額の実験??～廃炉ビジネスで稼ぐ鹿島建設

鹿島建設は、福島第一原発1～6号機の原子炉建屋を建設し、事故後は、除染モデル実証事業、がれき搬送など、事故収束・震災復興ビジネスで稼いでいる。原子カムラの一員として、今後数十年に渡る廃炉ビジネスにも積極的に関与する見通しだ。

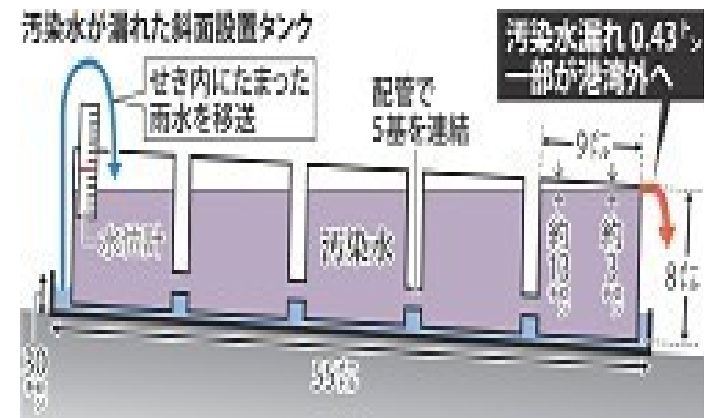
**5.16 追加発表** 施工後の課題として、遮水壁内への地下水流入が十分に遮断され、建屋内の滞留水(汚染水)の水位と地下水位がほぼ一致する場合、「滞留水が拡散で建屋外に漏洩する恐れは否定できない」と明記している。「滞留水が拡散で建屋外に漏洩」の部分で赤字で強調する念の入れようである。

# 提案された地下水対策の基本的問題点(1)

トンネル工事、地下鉄工事現場で見られたように、

地下水くみ上げ、地下水ダムなど地下水脈の変化を与えると、**地盤の不同沈下（不等沈下）**が発生する恐れがある。

不同沈下に備えて、タンク群の傾斜度測定装置、傾斜修正措置を長期間維持しなければならない事態に予め備えるべきである。



タンク群の地震動による損傷の可能性およびその防止策  
(構造強化と汚染水のスロッシング (表面揺動) 防止対策)

## 被害が甚大になった可能性

- ・3月15日ころ放射性大気が関東地区を通過したが、降雨や降雪があったら、首都圏の広い領域が高放射線量になった可能性.
- ・4号機の使用済み燃料(約1500本の燃料集合体)の損傷, 溶融の可能性,
- ・2011. 3.12、原子力安全委員長(当時)は最悪のシナリオ「福島第一原発の原子炉がそのまま手を付けられなくなる可能性、その南10キロにある福島第2発電所、さらにはその南、茨城県東海村の東海第2原発にも影響が及ぶこと、そうなると東京にも大量の放射性物質が拡散するだろう」を考えた。
- ・2011. 3.25, 内閣(当時)で原子力委員長(当時)が「福島第一原子力発電所の不測事態シナリオの素描」を報告した。  
<http://www.asahi-net.or.jp/~pn8r-fjsk/saiakusinario.pdf>

## 8.福島原発事故が全てを変えた —事故の国内外への影響—

トルコ原発輸出断念 東芝は失敗、三菱は撤退。残るは日立のみ。もはや新規原発の建設は難しい。2018. 12. 16

原発政策矛盾鮮明 経団連会長、コスト高指摘  
「原発 国民反対ではつukれない」 経団連会長  
2019年1月5日

加速する「原発離れ」 中国がとどめを刺す可能性

世界が原子力利用から遠ざかろうとしている中、原子力をもっとも推進していた中国がそのコストと安全性の問題に直面している。表向きは原発推進の立場を維持しているものの、原発大手さえも再生可能エネルギーへのシフトを始めている。原子力のテクノロジーは、中国が見放すことで終焉を迎えるかもしれない。

by [Peter Fairley](#)2018.12.19

(MIT Technology Review 2018年12月19日)

<https://www.technologyreview.jp/s/116461/chinas-losing-its-taste-for-nuclear-power-thats-bad-news/>



# 参考文献

## 事故報告書

- 1) 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会「中間報告」(概要, 本文, 資料), 2011. 「最終報告」(概要, 本文, 資料)2012. 特に, pp.29-32.
- 2) 東京電力「福島原子力事故調査報告書」2012.
- 3) 日本再建イニシアティブ・福島原発事故独立検証委員会「調査・検証報告書」(ディスカバー, 2012).
- 4) 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会(概要, 本文, 資料)2012. 特に, p. 202, pp.213-215, 参考資料pp. 61-82.
- 5) FUKUSHIMAプロジェクト委員会「Fukushimaレポート」日経BP出版、2012年

## 事故分析の参考書

- [1]豊田正敏他「原子力発電技術読本」オーム社. 1973年
- [2]井野博満編「福島原発事故はなぜ起きたか」藤原書店, 2011年.
- [3]桜井 淳「福島第一原発事故を検証する」日本評論社, 2011年.
- [4]田辺文也「まやかしの安全の国」角川SSC新書, 2011年.
- [5]桜井 淳「福島原発事故の科学」日本評論社, 2012年.
- [6]大前研一「原発再稼働 最後の条件」(小学館, 2012)
- [7]田辺文也「メルトダウンー放射能放出はこうして起こった」岩波書店, 2012年.
- [8]館野 淳「シビアアクシデントの脅威ー科学的脱原発のすすめ」東洋書店, 2012年.
- [9]瀧上正朗他「福島原発で何が起こったか-政府事故調技術解説」日刊工業新聞社, 2012年.
- [10] **D.ロックバウム他, 憂慮する科学者同盟(UCS)**  
**「実録 FUKUSHIMAーアメリカも震撼させた核災害」岩波書店, 2015年**