

どうなっている汚染水問題 どうしたらいいのか？



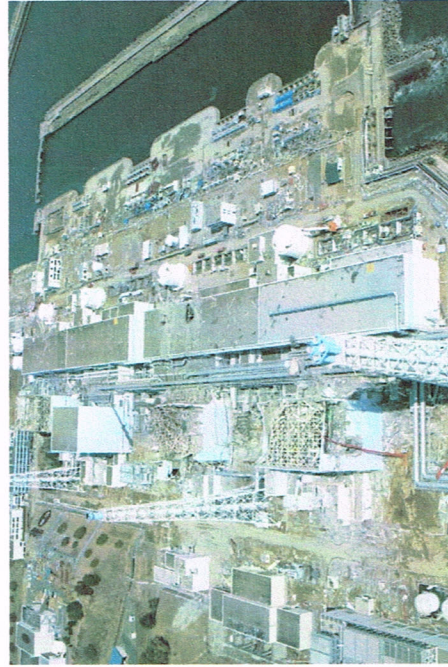
日本科学者会議原子力問題研究委員会委員

児玉 一八

事故前の福島第一原発

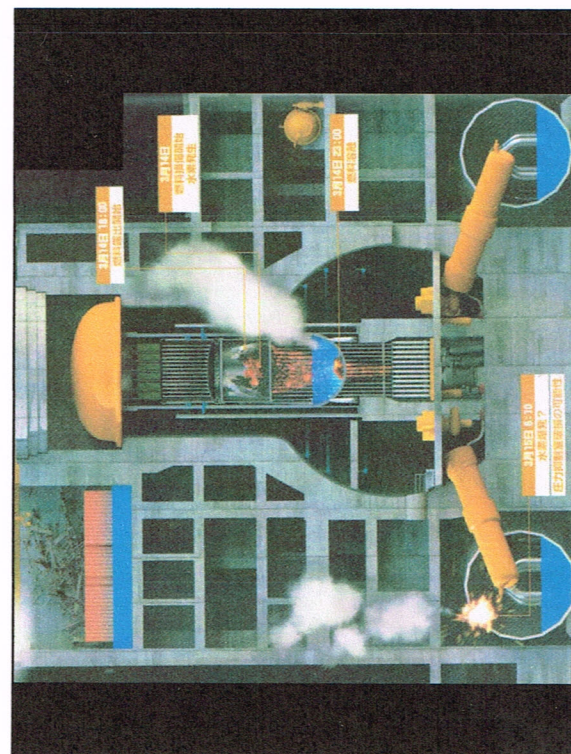
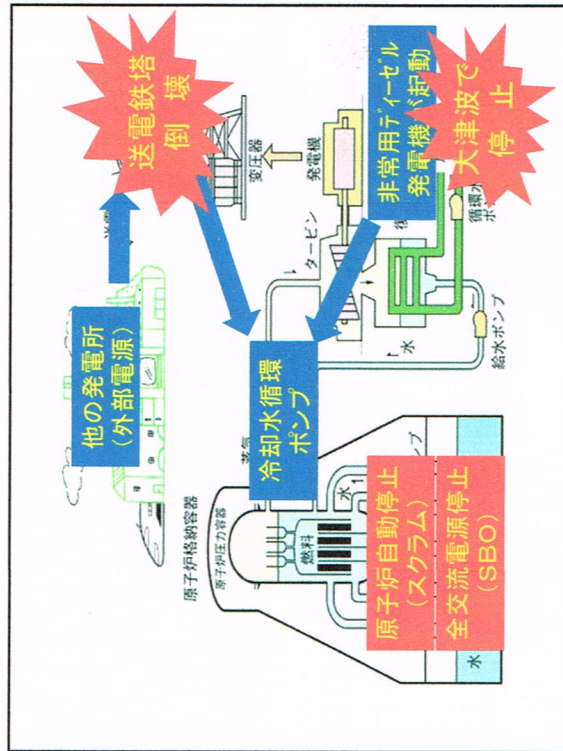
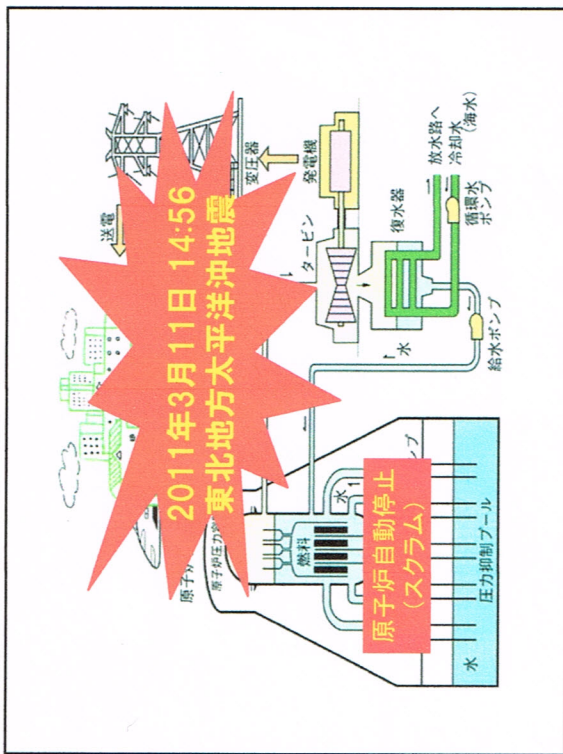


事故後の福島第一原発



福島第一原発事故

- 2011年3月11日14:46 東北地方太平洋沖地震発生
- 14:47 1～3号機スクラム(核反応停止)→外部電源供給停止→非常用ディーゼル発電機起動→冷却再開
- 15:35 津波(第2波)→全交流電源喪失(SBO)
- 15:42 原子力災害対策特別措置法第10条通報
- 電氣を使わない冷却系作動(1:IC、2・3:RCIC、HPCI)
- ↑ここまでは「設計基準事故」
- ↓ここからが「シビアアクシデント(苛酷事故)」
- 冷却系がつかず停止(1:2時間、2:3日、3:2日)→冷却機能喪失→崩壊熱→炉心露出→水素発生→炉心溶融→水素爆発→ベント→放射能放出



放射性物質の大気と水への放出

●大気中への放出(→地表の汚染)

元素・化合物の揮発性(液体の蒸発のしやすさ)
原子炉圧力容器・原子炉格納容器の破壊状況、
温度はどのくらい上昇したか

●水への溶出(→汚染水問題)

元素・化合物の溶解度(溶けやすさ)
溶媒(水)の量。多いほどたくさんの溶質を溶かす
溶媒(水)の温度。温度が上がると溶解度が上がるものが多い

チェルノブイリ原発事故

- 原子炉暴走事故であるチェルノブイリ原発事故では、定格出力の約100倍に急上昇した結果、原子炉容器に相当するチャンネル管が破壊された
- 放射性希ガスは原子炉内の全量、揮発性の放射性I(ヨウ素)は約50%、放射性Cs(セシウム)と放射性テルル(Te)は約30%が大気放出された
- 揮発性と不揮発性の中間に相当する放射性ストロンチウム(Sr)と放射性バリウム(Ba)は、それぞれ約4.5%と約4.0%が放出された
- 不揮発性の放射性ジルコニウム(Zr)とプルトニウム(Pu)はそれぞれ約3.4%と約2.0%と、本来なら大気放出されにくい多数の放射性核種が爆発エネルギーにより平均3~4%も放出された

福島第一原発事故

- 福島第一原発事故では原子炉建屋の水素爆発こそあったものの、大気放出されたのは放射性希ガス、揮発性の放射性I(ヨウ素)、放射性Cs(セシウム)、放射性Te(テルル)が主であった
- 揮発性と不揮発性の中間に相当する核種(たとえばSr(ストロンチウム)-90、Ba(バリウム)-140、Ru(ルテニウム)-106など)は、放射性Csと比較すると大気放出量も線量寄与ともに非常に小さかった
- 不揮発性の核種(Zr(ジルコニウム)-95、Ce(セリウム)-141、Pu(プルトニウム)など)も、放射性Csと比較すると大気放出量も線量寄与ともに非常に小さい
- チェルノブイリ原発事故との、こういった違いを軽視してはいけない

揮発性元素と不揮発性元素



	融点	沸点
Cs(セシウム)	28.4℃	678.5℃
I(ヨウ素)	113.6℃	184.4℃
Te(テルル)	449.5℃	990℃
Sr(ストロンチウム)	769℃	1384℃
Ba(バリウム)	729℃	1637℃
Pu(プルトニウム)	641℃	3232℃
Zr(ジルコニウム)	1852℃	4377℃

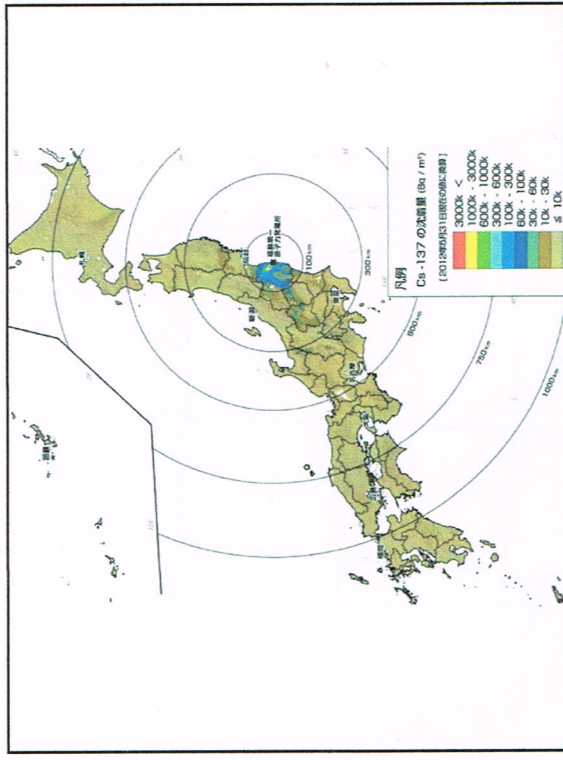
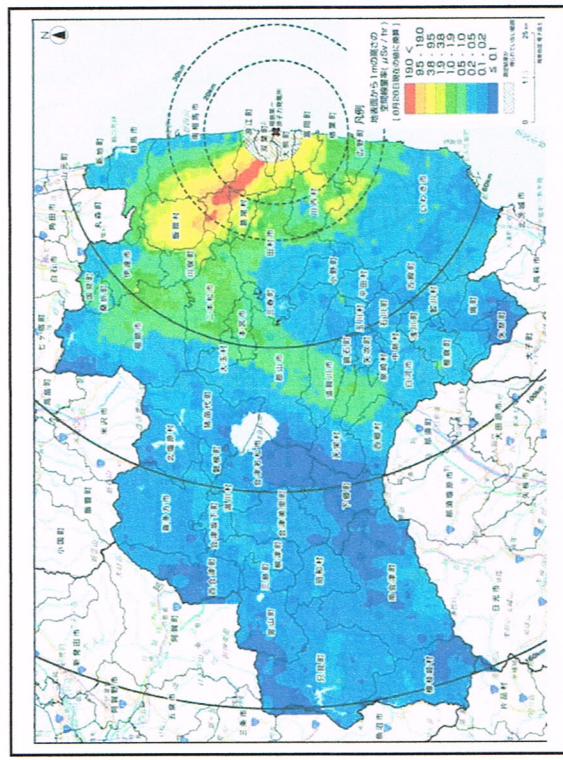
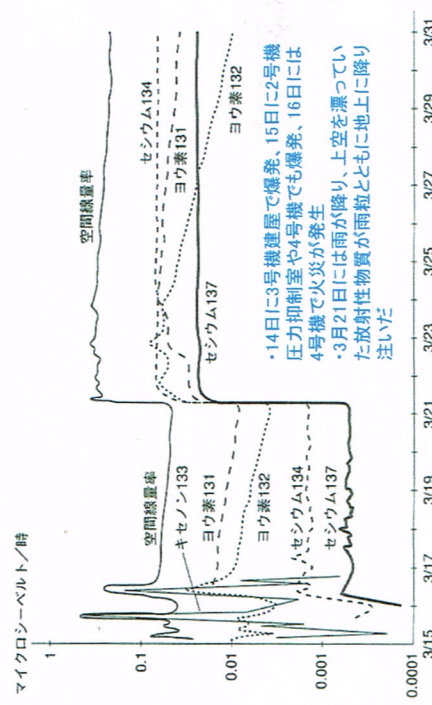
分子式	融点	沸点
塩化セシウム CsCl	645℃	1290℃
硫酸セシウム Cs2SO4	1010℃	
水酸化セシウム CsOH	272℃	990℃
炭酸セシウム Cs2CO3	600℃ (分解)	
酸化セシウム Cs2O	400℃ (分解)	

放射性核種の大気放出量

推定機関	評価期間	放出量 (× 1000兆Bq = 10 ¹⁵ Bq)			
		希ガス	¹³¹ I	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs
東電	3/12-31	500	500	10	10
A	3/11-4/5	—	150	—	13
B	3/12-4/5	—	130	—	11
C	3/11-4/1	—	120	—	9
D	—	—	130	—	6.1
E	—	—	160	18	15
F	—	—	150	—	8.2
Aoyama	—	—	—	—	15-20
G	3/12-22	2,000	200	—	27
参考		6,500	1,800	約54	85

A: 原子力機構+原子力安全委(2011/4/12, 5/12) B: 原子力機構+原子力安全委(2011/8/22) C: 原子力機構(2012/3/6)
D: 原子力安全・保安院(2011/4/12) E: 同院(2011/6/6) F: 同院(2012/2/16) G: IHSN(仏・放射線防護原子力安全研究所)
参考: チェルノブイリ原子力発電所の事故

福島原発事故後の空間線量率の変化



放射性セシウムの1時間当たりの大気放出量



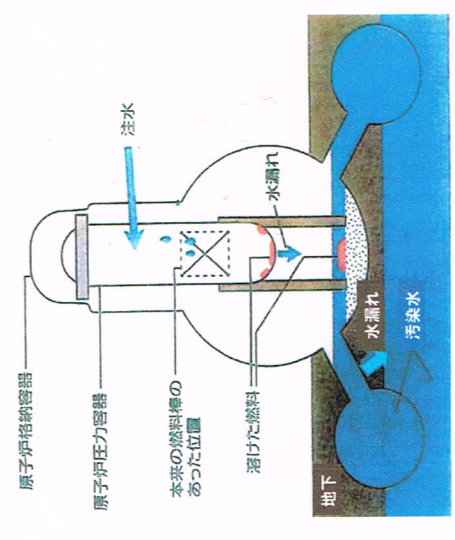
3つの苛酷事故での汚染水問題①

- スリーマイル島原発事故 (1979年3月)
 - ・炉心溶融には至ったが、初期段階での対応が功を奏し、原子炉圧力容器の損傷までは至らなかった。そのため、燃料デブリを圧力容器内に水没させて冷却を維持できた
- チェルノブイリ原発事故 (1986年4月)
 - ・原子炉への注水は最初の10時間のみ。その後は水蒸気爆発を回避するために水との接触を避け、溶融した燃料は原子炉から地階に落ちて広がり、やがてその場で固化した
 - ・石棺は、壊れた建屋の壁に応急処置した覆いにすぎず、当初から雨漏りがひどかった。固化した燃料デブリから、雨水によって放射性物質が洗い流され、冷却池→地下水→プリピャチ川→人造湖と流れて、キエフの飲料水に至った
 - ・現在、スライディング・アーチが建設中。完成すれば、屋根が雨水の浸透を防ぎ、冷却池への流出は止まる

3つの苛酷事故での汚染水問題②

- 福島第一原発事故 (2011年3月)
 - ・福島原子炉は、スリーマイル島ともチェルノブイリとも異なる問題に悩まされている
 - ・注水した原子炉圧力容器が水漏れをおこし、その外側の原子炉格納容器、さらにその外側の原子炉建屋からも漏れて、これに建屋の外側の地下水が合流している
 - ・チェルノブイリのように、水の漏らない屋根をつければ解決という訳にはいかない
 - ・合流する地下水の量も多く、雨水の量を圧倒的に上回っている

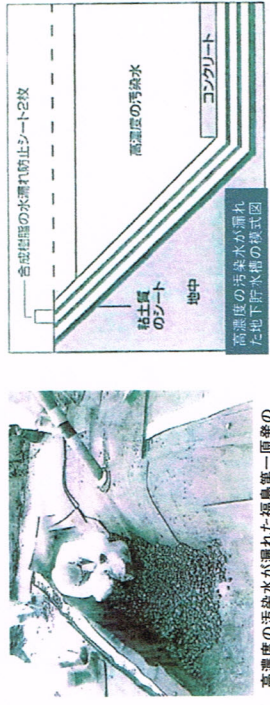
汚染水はどうやって生じるか



汚染水にかかわる主な出来事(2013年)

- 4月 6日 地下貯水槽で汚染水漏れが発覚
- 6月 19日 海側観測孔で高い濃度のストロンチウム90、トリチウムを検出
- 7月 22日 汚染水が海へ流れ出ていることを東電が認める。政府は少なくとも1日300トンが流出していると推定
- 8月 19日 汚染水タンクからの水漏れ。推定300トン
- 9月 16日 台風で汚染水タンク周りの堰にたまった水1130トン、を堰外へ放出。一部では堰からあふれた
- 10月 2日 傾いたタンクに容量を超えた汚染水を注ぎ、漏洩
- 12月 21,22日 汚染水タンク周りの堰から3.4トンが漏れる

汚染水漏れ貯水槽一水を入れる構造ではない



・ 環境省の窪田哲也・技術専門官(産業廃棄物課)「東電から問い合わせはありませんでした。もし聞かれたいれば、水を入れる構造ではありませんとお答えしたでしょう」(しんぶん赤旗2013.4.16)

海近く高濃度汚染 福島第一原発地下水

「海に流出」初めて認める
福島第一原発(福島県大熊町)の汚染水が、地下貯水槽から海へ流出したことが、東電が初めて認めた。流出量は、推定300トン。流出した汚染水は、海へ流れ出し、太平洋に拡散している。流出した汚染水は、海へ流れ出し、太平洋に拡散している。流出した汚染水は、海へ流れ出し、太平洋に拡散している。

ストロンチウム基準の30倍
海側観測孔で検出されたストロンチウム90の濃度は、国の基準値の30倍に達している。トリチウムの濃度も、基準値の100倍に達している。

汚染水が海へ流れ出ていることを東電が認める。政府は少なくとも1日300トンが流出していると推定

しんぶん赤旗2013.6.20

「海に流出」初めて認める

福島第一の汚染地下水

「海に流出」初めて認める
福島第一原発(福島県大熊町)の汚染水が、地下貯水槽から海へ流出したことが、東電が初めて認めた。流出量は、推定300トン。流出した汚染水は、海へ流れ出し、太平洋に拡散している。流出した汚染水は、海へ流れ出し、太平洋に拡散している。

しんぶん赤旗2013.7.23

汚染水、海に流出

福島第一 東電が認める

汚染水、海に流出
福島第一原発(福島県大熊町)の汚染水が、地下貯水槽から海へ流出したことが、東電が初めて認めた。流出量は、推定300トン。流出した汚染水は、海へ流れ出し、太平洋に拡散している。流出した汚染水は、海へ流れ出し、太平洋に拡散している。

朝日新聞2013.7.23

東電 教訓生かたず

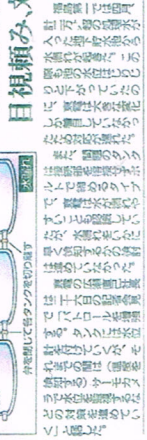
しんぶん赤旗2013.8.21

福島第1原発

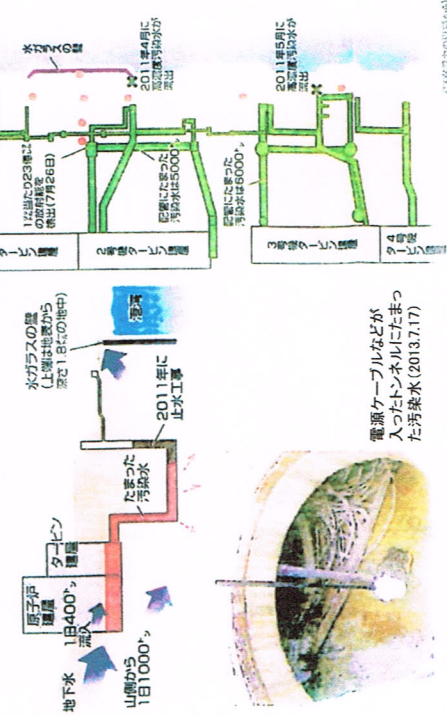
[illegible]

水位計 5,6基に一つ

福島第1 水漏れタタタ

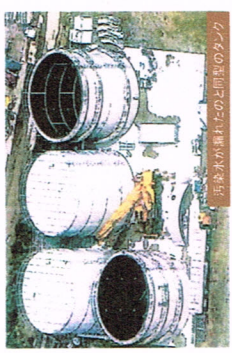
[illegible]

汚染水が海洋に流出



だけのタンクに汚染水を保管
 継ぎ目を溶接せずボルトで締めつけた

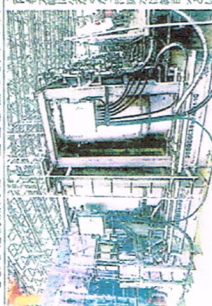
- 汚染水貯蔵タンクは、継ぎ目を溶接せずボルトで締めつけた構造(フランジ接合型)
- 汚染水が漏れたのもこの型のタンク。放射能汚染水を保管するのであれば、溶接型タンクで行うのが常識
- 東電は確立された技術も使っていない。安全感覚の欠如は深刻である



北庭十口初國/2013.02.27

汚染処理一日停止

福島第一 試運転再開の新設備

[illegible][illegible]

つて、
お入りに置かせる
が、東洋は西洋に
回りの原因で、あ
つた。今、各
家、下真金があつた
近のまハク西をカ
のり、ついで、ついで、
ついで、ついで、

污染了，漏孔又被曝

福島第一 水一又誤って外す

東京電力は9日、福島第一原発にある淡水化装置のホースから高濃度の汚染水が漏れ、作業員ら8人の体に放射能物質が付着して被曝したと発表した。汚染水にはストロンチウムなどベータ線を出す放射能物質が

1 歩あたり3400万は金
まれ、建物内に約7、8台
つて、6人はいずれも同日
中に感染を終え、不調は軽
そでないという。

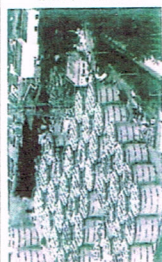
東電によると、9日午前
9時35分ごろ、協力会社の
作業員3人が、原子炉を冷

[illegible]

汚染水タンクごとに管理

しんぶん赤旗2013.8.29

福島第1原発

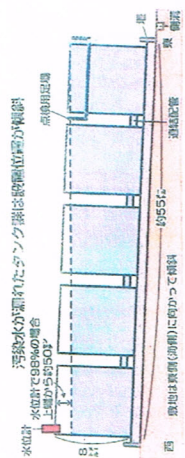


7月上旬には漏れ始め

2人で930基を巡回

[illegible]

傾いたタンクに
過剰注水。
汚染水は
海に流出



しんぶん赤旗2013.10.4

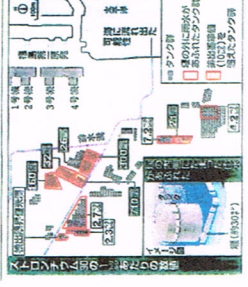
汚染水 甘く雨対策

島田と大井川の汚染水対策は、両河川の汚染水を、大井川河口に放出する。この対策は、大井川河口に放出する汚染水の量を、大井川河口の汚染水の量に合わせる。この対策は、大井川河口に放出する汚染水の量を、大井川河口の汚染水の量に合わせる。

福島第一の堰の場所、基準超え

運用・設備 追いつかず

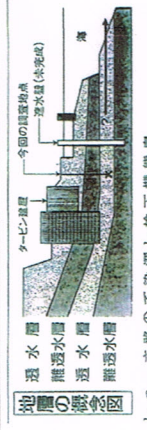
「水や土壌汚染対策」は、福島第一原子力発電所から、大井川河口に放出する汚染水の量を、大井川河口の汚染水の量に合わせる。この対策は、大井川河口に放出する汚染水の量を、大井川河口の汚染水の量に合わせる。



朝日新聞2013.10.22

深い地層にも汚染水

福島第一原発 新たな流出経路が



福島第一原子力発電所から、大井川河口に放出する汚染水の量を、大井川河口の汚染水の量に合わせる。この対策は、大井川河口に放出する汚染水の量を、大井川河口の汚染水の量に合わせる。

しんぶん赤旗2013.12.22

トランプ輸出 作業員が証言

東電「金ない」と放置 被ばく限界ぐと下の不足

福島第一原子力発電所から、大井川河口に放出する汚染水の量を、大井川河口の汚染水の量に合わせる。この対策は、大井川河口に放出する汚染水の量を、大井川河口の汚染水の量に合わせる。



赤旗日曜版2013.10.20

甘く東電対応後手

福島 汚染雨水流出 想定雨量の3倍 満水位の堰放置

福島第一原子力発電所から、大井川河口に放出する汚染水の量を、大井川河口の汚染水の量に合わせる。この対策は、大井川河口に放出する汚染水の量を、大井川河口の汚染水の量に合わせる。



北陸中日新聞2013.10.22

汚染水対策は2つに分かれる

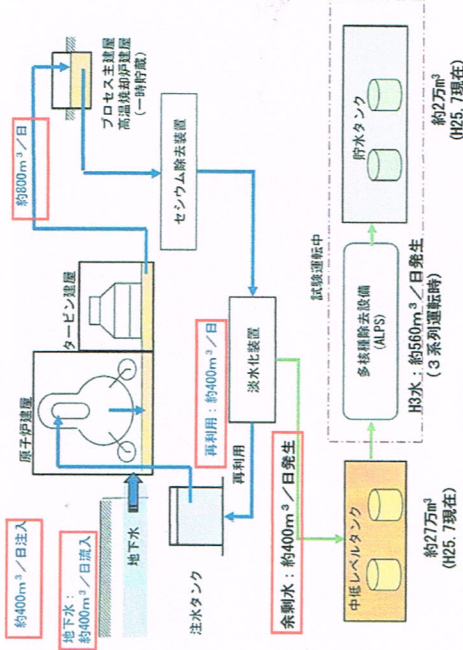
●原子炉建屋地下等に流入する地下水量の低減

- 地下水の構造についての情報が決定的に不足。
- 物理地質構造の解明が急務
- 地下水の抑制は上流側が基本。海域への流出を防ぐ遮水壁が必要だが、凍土遮水壁でいいのか

●既存の膨大な汚染水の安全保管対策

- 漏れない構造の溶接型貯蔵タンクを早急に作成し、溶接されていないフランジ型貯蔵タンクから移送する
- ALPSを恒常的に稼働できるようにし、台数も増やして、可能な限り汚染水の放射能濃度を低減する

原子炉冷却(汚染)水の循環



福島第一原発周辺の地形

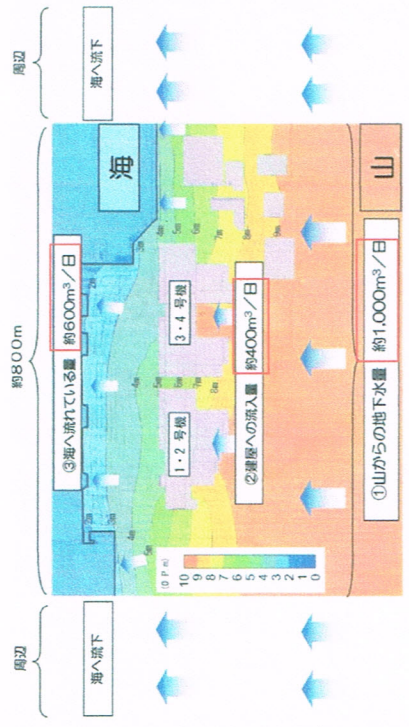


- 福島第一原発の敷地は、3本の小川が流れていた海拔約35mの海成段丘面
- 段丘面の海側を、海拔約10mまで削り取った。35m盤と10m盤の境目には急峻な崖があり、地下水が常時しみ出している

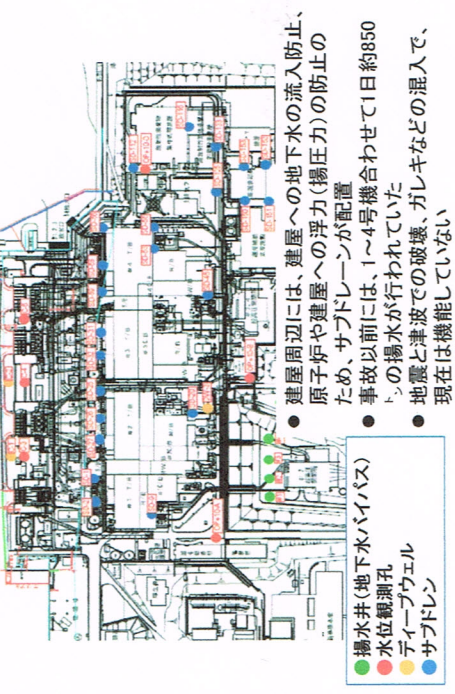
福島第一原発周辺の地下水の流れ



地下水の状況

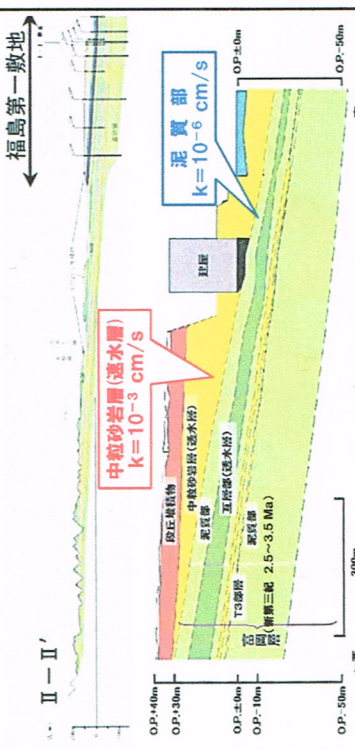


福島第一原発の周囲でのサブドレン



地下の水利地質構造

- 地下水は 不透水な地層を 水理的な基盤として 岩盤の割れ目を流動している
 $Q(\text{地下水量 } \text{m}^3/\text{day}) = k(\text{透水係数 } \text{m}/\text{day}) \times A(\text{透過断面 } \text{m}^2) \times h(\text{導水勾配 } \text{m}/\text{m})$



福島第一原発周辺の地盤には、一般に地下水の流れやすい中粒砂岩と互層部、比較的地下水を通じにくい泥質部が分布しており、山側から海側に傾斜している。これらの地層は、富岡階とよばれる250～350万年前(新第三紀)の地質学的には新しい時代の地層である

敷地内の地下水の流れ

(汚染水処理対策委員会)

- 地盤の透水性は、原位置透水試験、室内透水試験より、砂岩が $10^{-3} \text{cm}/\text{sec}$ 程度、泥岩が $10^{-6} \text{cm}/\text{sec}$ 程度と評価されていることから、透水層は表層近くに分布する中粒砂岩層と、泥質部の下位に分布する互層部と考えられる
- 2つの透水層は、その間に数～10m程度の厚さで連続して分布している泥質部により遮断されている。建屋の地下外周部は、中粒砂岩層に接している
- これによると、建屋に流入している地下水は中粒砂岩を流動している地下水のみであるということになる。しかし、中粒砂岩の分布や推定される地下水量を考えれば、この地下水のみというのは疑問

地下水対策には水理地質構造の解明が重要

- 互層部の被圧力はきわめて低いため、泥岩層も比較的うすく分布している
- 泥質部下位に分布する互層(透水層)を流動している地下水も含めて、最下部に分布している泥質部より上の地下水全体が、建屋に流入して汚染水に関与しているとすれば、汚染水はこの互層(透水層)を流動して、沖合の海底に湧出していることが懸念される
- 広域の地下水理地質構造と地下水の流動の把握・解明は、地下水対策の基本となる。海域を含めた詳細な現地調査が不可欠である

東電・国の汚染水「抜本対策」

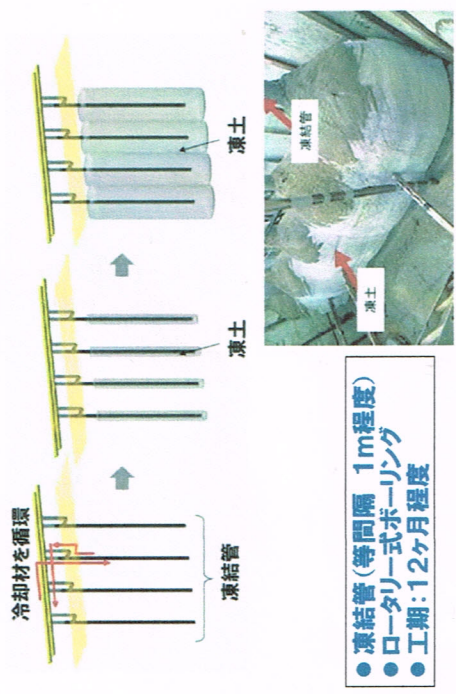
—海側遮水壁(東電)と陸側遮水壁(凍土方式)—



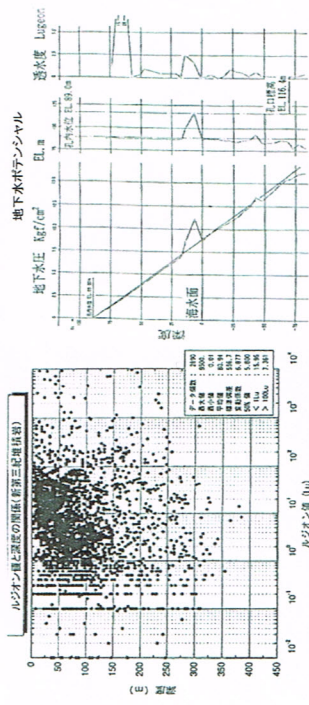
東電・国の対策

- ① **海側遮水壁**: 現在の海岸線の外側に設ける鉄製の壁。海水と地下水を遮断する
- ② **水ガラス(壁)**: 汚染された地下水を取り除くため、薬液を注入して汚染領域を囲んでしまう
- ③ **凍土壁(山側遮水壁)**: 1～4号機の原子炉建屋とタービン建屋を取り囲む水の壁。総延長は1400m。凍結管と呼ばれる長さ30m、三重構造のパイプを地中に埋設し、土壌を凍らせる
- ④ **サブドレン**: 建屋周りの排水用地下水抜き取り井戸。地震と津波で壊れたのを復活させる
- ⑤ **地下水バイパス**: 敷地内を流れる地下水を建屋の前で汲み上げて、建屋に流入する地下水の量を減らす

凍土遮水壁造成のイメージ



岩盤の透水性と地下水圧分布



- 岩盤地下水の流れは、透水性(流れやすさ)に依存する。岩盤の透水性は、きわめて低い値から高い値の広い幅で、はるばるも非常に大きい。新しい時代の岩盤ほど、その傾向は顕著。透水性は比較的に深いところでも、1万倍以上のばらつきがある
- 一般に水圧は深さに応じて高くなるが、岩盤地下水は割れ目の分布に応じて、異常に高い圧力を示す箇所がある。海岸付近では、淡水と海水の密度差によって、海水が陸地の地下水に侵入するという特有の現象(海水侵)もある

岩盤の透水性を評価するためにボーリング孔内の試験区間内に一定圧力で注水を行い、圧力と注水流量からラングレン値を求める。ラングレン値は、試験区間に10気圧(0.98MPa)の圧力で注水したときの試験区間1m当たりの1分間の注水流量をリットルであらわした値である

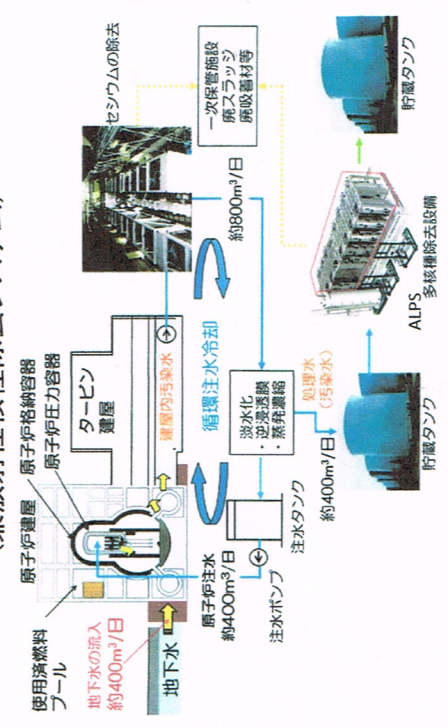
遮水は上流側での対応が基本

- 海域への流出を防ぐために、海側での遮水壁は必要だが、一般に地下水の対策は、上流側での対応が基本である
- 上流の放射能汚染源の影響を排除した適切な場所にトンネルを掘削し、地下水をトンネルで海に排水する(この排水と海面の標高差を利用し、小水力発電を行うのも一案)
- 敷地内を広く除染し、アスファルトなどで地表面をおおい、雨水の地中への浸透を防ぐ対策も重要である

岩盤地下水の遮水は至難の業

- 地下水の流入抑制対策として、凍土遮水壁を原子炉建屋の周りに設置するとしている
- 大規模で長期間の実績は、日本にも世界にもない
- 岩盤の割れ目を流れている地下水は一樣ではなく、水が均質に凍るかも問題。原位置での実証試験も行っていない
- 他に提案された方法とともに原位置実証試験を行い、慎重に検討すべき
- 岩盤地下水を遮水するのは、至難の業である

循環注水冷却システム (兼放射性核種除去システム)



福島第一原発構内の配置図



複雑怪奇な循環注水冷却システム

- 事故炉の循環注水冷却システムは、建屋地下に滞留する高レベル汚染水の処理システムと一体
- 燃料デブリ表面から溶出した放射性核種を含む冷却水と、建屋地下に流入する地下水・雨水が建屋地下に滞留する高レベル汚染水とが、混合することによって全体として高レベル汚染水になる
- この高レベル汚染水から、油分（非常用ディーゼル発電機の燃料など）・放射性核種・塩分を除去し、再び冷却水として事故炉を循環させなければならない
- しかも、強放射能汚染かつ高空間線量率という最悪の条件下で、循環冷却システムを構築せざるを得なかったため、複雑怪奇な仕組みになっている

ALPS(多核種除去システム)の系統図

