

原発の汚染水を止める方法

東北大学 流体科学研究所 圓山重直

2013/08/09 作成

概 要

最近問題になっている汚染水流出防止方法について述べる。汚染水流出は海側の止水壁を作っても、山側の地下水水位を下げてても根本的解決にはならない。「汚染水は元から断たなきゃダメ」である。「炉心水の直接循環」と「地中石棺作戦」によって汚染水流出は止められる。一刻も早い汚染水流出防止策実行を望む。

1. はじめに

原発事故から約 2 年半になるが、依然福島第一原発収束の目処は立っていない。最近では汚染水問題が急激に浮上し、原発収束は益々遅れることが予想されている。梅雨の終わりで地下水位が上昇したことも、問題を顕在化させた一因とも考えられる。本レポート執筆時点では、地下水が原発敷地を日量 1000 トン流れていて、そのうち 400 トンが原子炉建屋に流入して汚染水を増やしている。また、地下水の日量 300 トンが海に流出して海を汚染していると報道されている。

著者らは、原発事故発生当初から汚染水の地下遮断について提言を行ってきた【文献[1]の HTC Rep. 10.2, 2011/4/24、以下(HTC Rep.10.2, 2011/04/24)と記す】。文献[1]では、汚染水の遮蔽について種々の提言をしてきたが、東電が本格的に対応を始めたのは(HTC Rep.27.1, 2013/03/11)以後である。本レポートでは原発の現状に即し、汚染水の増大を減少させる具体的な方法について述べる。

2. 過去の汚染水流出防止提言の要約

これまで、提言してきた汚染水流出防止方法について、過去のレポートを再録する。各レポートの日付に注目していただきたい。情報の少ないときの提言なので、幾つかの事項で若干現状と異なっているが、当時の推定は東電の公式見解とは異なるものの現在の状況とほぼ一致している。レポートのほとんどは事故直後の2011年に出された提言であることに着目されたい。

筆者は早くから地下の遮水の重要性を指摘してきた。しかし、東電ではこの優先順位を下げて先延ばしにしてきた嫌いがある。そのツケが現在に及んでいる。

2.1 放射能隔離に向けて（暫定版）



図 1 放射能放出の現状

原子炉建屋は岩着で建設されていると予想されるので、原子炉建屋真下から地下への漏れは考えにくい。側壁を通した漏れは考えられる。タービン建屋は岩盤に杭打ちをして、その上に建設していると考えられる。タービン建屋地下は亀裂が入っており、建築時に敷き詰めた砂利（クラシャー）が透水層となり地中に拡散していると予想される。その水がトレンチや縦坑に溜まっていると予想される。トレンチからの水をかい出してもタービン建屋からどんどん漏れるので意味がない。この漏れ率は、ダルシー則とこれまでのくみ出しデータで計算できる。このことは土木関係では常識だが、下請け業者が施主にコメントすることはしにくい状況であると推察される。

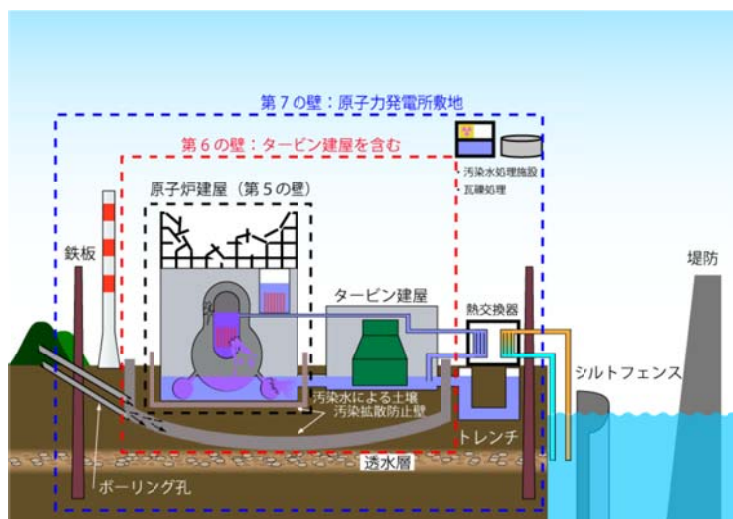


図 2 原子炉を封じ込める第 6 の壁

第 5 の壁が崩壊してタービン建屋に汚染水が流入している現在、第 6 の壁とも言える放射能の防衛ラインは

原子炉建屋とタービン建屋とすべきだと考える。つまり、タービン建屋の汚染水の処理と平行して放射能防衛ラインに汚染を封じ込める努力を早急に進めるべきである。実際には下記の手順が考えられる。

第6の壁に放射能を閉じ込めることは、そこまで放射能が進入することを許すことである。圧力容器と格納容器はつながっており、炉心の高度汚染水が格納容器内の水を高度に汚染する。タービン建屋に炉心で汚染された高度汚染水（少なくとも10倍）がタービン建屋地下を満たす。これが環境に出ると収拾がつかなくなるので、地盤の透水層の処理は完全に行う必要がある。そのためのコンクリートミルクの注入は急ぐべきである。トレンチの水は透水層を処理してからくみ出しても良い。

地盤にセメントミルクを大量に投入し地盤からの汚染水漏洩を防止する。土木関係者と相談して地面が浮き上がらないように圧力と流量を調整する。この処置は、すぐ実施すべき既存技術である。

原発敷地を第7の壁と考え、海水中のフェンスや新たな堤防、敷地内の漏水箇所の補修、汚水タンクの破損などで万が一漏洩水があった場合の堤防や鋼板矢板で地中を隔離する地中フェンスなどを設置する。特に、海水に漏れ出る汚染水の防御は多重にする。今後、余震で津波が来るとも考えられる。

放射能を第6の壁に封じ込めたら、時間をかけて第5の壁に隔離する方策を講じていく。しかしこれにはかなりの時間がかかると予想される。しかし、第6の壁から環境に放出する放射能が閉じ込められれば、周辺住民の帰省や産業の復旧などの目処がつくことになる。一日も早い封じ込めを期待する。

2.2 一日も早い原発事故収束に向けた工程表

Heat-Transfer Control Lab. Report No. 15, Ver. 2 (HTC Rep.15.1, 2011/5/22)

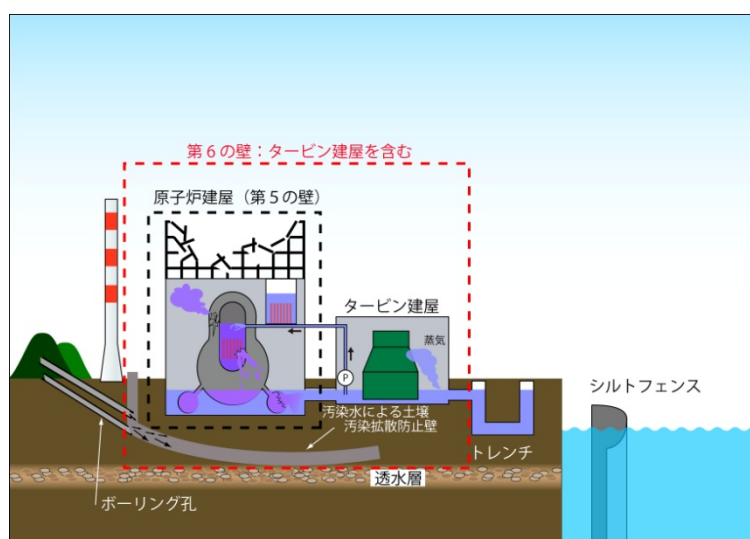


図9 原発収束のためのステップ1

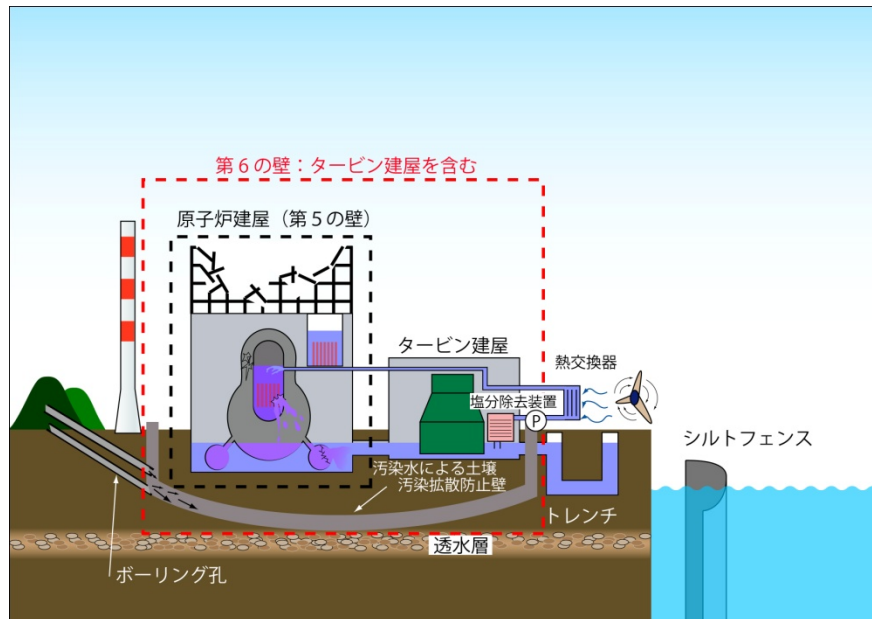


図 10 原発収束のためのステップ 2

先ず、トレンチやタービン建屋と繋がっている比較的浅い透過水層の遮断を実施すべきである。コンクリートミルクの注入はすぐ出来る。トレンチや縦坑の排水はその後にやっても十分だ。海側の地中に矢板鋼板を連続的に打ち込みその内側にコンクリートを注入することによって海洋への放射能汚染を防止できる。炉心からの汚染水は、ヨウ素やセシウムだけでなく、プルトニウムやストロンチウムを含んでいる可能性が高いので大変危険である。応急措置を行い、時間をかけて恒久的な地下防御を実施すべきである。

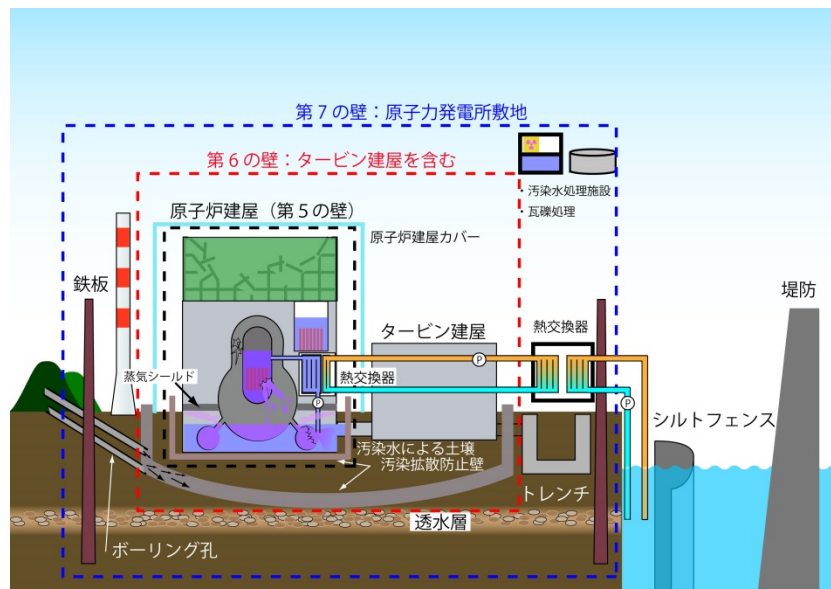


図 11 原発収束のためのステップ 3

何度も述べているが、トレンチの水くみ出しは不毛である。それだったら、逆にトレンチに真水（できれば温水）を上から流し込めば海水を含む汚染水は自動的にタービン建屋に戻っていく。真水と汚染

水で濃度成層ができるのでトレンチ口の放射線量も真水の遮断でずいぶん下がる。

それと同時に、タービン建屋の汚染水を「そのまま」（ゴミぐらい取る）炉心に注入する。3月15日付けレポートでは、海水の炉心投入による危険性を指摘した。現状では真水に変えられているが、タービン建屋の汚染水は大半が海水である。しかし、現在と3月15日の時点では条件が全く違う。現在は投入水の半分は蒸発するが残りは漏れ出てタービン建屋に戻ってきている。塩の閉塞問題はほとんど考えられない。3月15日当時、原子炉は「压力容器」であり、高圧に対する破損や腐食が心配された。現在の原子炉はただの入れ物であり、圧力はほとんどかからない。腐食して壊れるところはすでに壊れている。従って、数ヶ月なら塩水を流しても大丈夫である。汚染水を増やすことの方が大きい。放射能は炉心から出たのであるから、それを炉心に戻しても何の差し障りもない。汚染水増加を気にする必要がないので、注水量を増やし炉心を安定化できる。注水ポンプは無人操作となるが難しいことではない。現に汚染水をポンプで輸送している。

2.3 4ヶ月で原発を収束させる工程表

Heat-Transfer Control Lab. Report No. 15, Ver. 3 (HTC Rep.15.3, 2011/6/8)

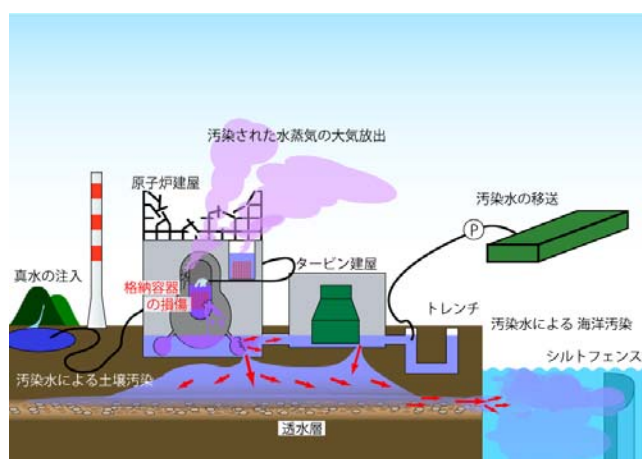


図1 放射能放出の現状(5月22日現在)

現在は、図1に示すように、全ての原子炉で相変わらず汚染水と汚染水蒸気を放出している。特に汚染水はプルトニウムやストロンチウムを含んでいる可能性が高い。原子炉建屋地下に溜まった水が配管や地下の透水層を介してタービン建屋や海に漏出している。外部からの水投入を増やしているので、汚染水が増え続けている。海への汚染水漏出も完全に止まっているとは言い難い。しかし、放射能の大部分を占めていた放射性ヨウ素はすでに大部分が崩壊し、初期の千分の一になっている。

Ver.2では（目的2）について、3段階の収束法を提案した。そVer.3では、もっと早期に実現可能な方法を提案する。Rep.15.2の第二段階の改良版である。

まず、地下の漏水防止だ。トレンチやタービン建屋と繋がっている比較的浅い透過水層の遮断を実施すべきである。コンクリートミルクの注入はすぐ出来る。トレンチや縦坑の排水はその後にやっても十分だ。海側の地中に矢板鋼板を連続的に打ち込みその内側にコンクリートを注入することによって海洋

への放射能汚染を防止できる。炉心からの汚染水は、ヨウ素やセシウムだけでなく、プルトニウムやストロンチウムを含んでいる可能性が高いので大変危険である。この工事は 1 ヶ月もあれば実施可能だ。この応急措置を行い、時間をかけて恒久的な地下防御を実施するべきである。

5 月 22 日現在、2 号機で日量 99 トンの水が蒸発している。これを、温度差 40℃の水顕熱で吸収させるためには、日量 1300 トンの水を循環させる必要がある。さらに、これから夏場に向けて空気熱交換器は温度効率の点からかなり大型の熱交換器が必要となると考えられる。それでも、炉心から出た水の温度は 90℃程度になる。タービン建屋の漏水を隔離してなるべく小さなループで循環させることが必要である。原子炉建屋から蒸気が止まると、住民の帰省に向けた一定の指針を示すことができる。

Ver.3 では、炉心に注水をする前に冷凍機で水の温度を 10℃程度まで下げることを提案する。このときの電力量は、COP を 3 程度として東京ドームの 1 / 3 の電力消費でまかなえる。この冷却で炉内から排出される水の温度は 50℃程度となり、実質上の冷温停止となる。熱交換器や冷凍機は病院や工場に納品予定のものを譲り受ければ、2 ヶ月程度で納品可能で、1 ヶ月もあれば原子炉は収まる。

2.5 放射線データによる原子炉事象の検証

Heat-Transfer Control Lab. Report No. 19, Ver. 1 (HTC Rep.19.1, 2011/6/20)

おわりに

それぞれの原子炉は精々で東京ドームほどの熱しか出していない。臨界が停止しているので放射能は崩壊で減少するが増えていない。普通にやったら収束させるのは簡単なはずである。汚染水の浄化に苦労しているようだが、汚染水をそのまま循環させればフィルターの処理もしなくて良い。仙台ではタクシーの運転手さんでも「なぜ浄化して炉心に戻すのか」不思議がっていた。汚染蒸気が出ている建屋を気密性の建屋で覆うのは自殺行為である。トレンチの水しかり。

もうそろそろ、誰でも分かる無駄なことはやめて、本当の収束に向けた努力をしてもいい時期ではないだろうか。

2.6 原発収束第 2 ステップに向けた提言

Heat-Transfer Control Lab. Report No. 21, Ver. 1 (HTC Rep.21.1, 2011/08/18)

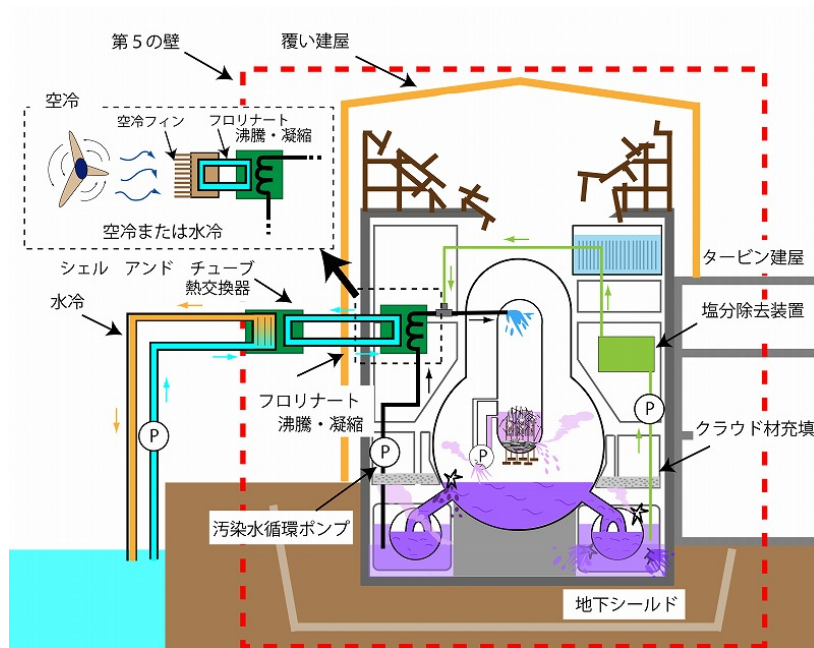


図 14 原子炉長期安定隔離に向けた提案

原理炉建屋の周りを完全に水密構造にするために地下シールドを設ける。図 12 の第 7 の壁を地下に作り放射能を完全隔離するためには膨大な経費がかかる。つまり、原発の敷地全域の地下をシールドするために、1 兆円以上の経費がかかるとも試算されている。しかし、図 3 を見ると明らかなように、原子炉建屋自体が原発の用地に占める土地は僅かなので、ここを集中的に地下隔離することによって経費の大幅削減ができる。さらに、原子炉は地下の安定岩盤までコンクリートで固めてあるので、それを有効活用して原子炉建屋周辺を完全にシールドすることは容易であると考えられる。原発敷地内に展開された長大な管路は必要ないので漏水や作業員の被爆等は最小限に抑えられると考えられる。

これまでの事故解析によると(Rep.19.1, 2011/6/20)、1 号機は格納容器ドライウエル (DW) の下部、2 号機はサブプレッションチューブ (SC)、3 号機は DW 下部が損傷していると推定される。3 号機は 3 月 21 日以後の原子炉が高温 (再ドライアウト) になったことにより、DW の上部 (DW 蓋部分?) の損傷が推定される。炉心の漏洩水はこれらの亀裂から水蒸気とともに漏出し、地下 2 階 (最下階) の SC 格納室に漏洩していると考えられる。地下 2 階の汚染水と建屋を完全に隔離するために地下 1 階のフロアーに大量のコンクリートもしくはクラウド材を敷き詰め、地下階からの放射性蒸気を遮断する。そこに鉄板もしくは鉛板を敷いて地下の放射線を止めることも必要かも知れない。地下のケーブル等でタービン建屋と繋がっている汚染水経路も完全に遮断する。

燃料瓦礫の最下流の壁面温度を $T_w=100^{\circ}\text{C}$ とするために必要な循環水量は、次式で求められる。

$$m = \frac{Q}{[T_w - T_{in} - Q/(Ah)]c_p}$$

これを、2 号機の場合で計算すると、日量 540 トン/日必要になる。つまり、熱力学的平衡状態で水温を 90°C に保つには 670 トン/日流しているから、同じ量を流せば、燃料表面に沸騰を起こさず冷温停止できることが分かる。

以上の計算は、燃料が瓦礫となってその間に水が流れている場合である。燃料が溶けてひとかたまりになっている場合や、DW に溶解している場合は上記の計算は当てはまらない。しかし、熱力学的平衡計算は同じなので、燃料の表面温度を気にしなければ、2号機は約 700 トン/日の水循環で「いわゆる」冷温停止状態を維持できることになる。

2.7 原発の汚染水を増やさない方法

Heat-Transfer Control Lab. Report No. 27, Ver. 1 (HTC Rep.27.1, 2013/03/11)

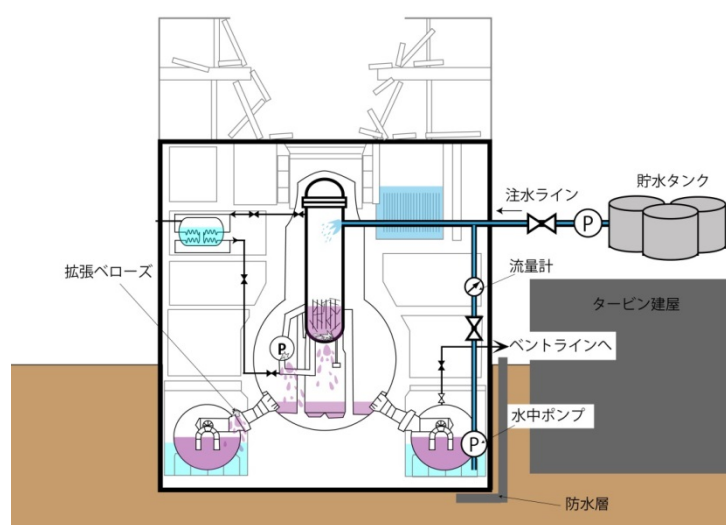


図4 本報で提案するコンパクト循環システム

図4に、本報で提案する循環システムを示す。本提案は、トーラス室に深井戸水中モーターポンプを入れて循環冷却する簡単な装置である。ただし、循環する汚染水は放射能が高いので、配管は遮蔽するか人間が近づかないようにする必要がある。また、ポンプは寿命がきたら交換できるようにバックアップが必要であろう。以下に具体的な手順を示す。

- (1) トーラス室に通じるφ300mmの穴を開ける。これは、図5に示すように、すでに実績があり1号機と2号機で穴を開けてトーラス室の水採取を行っている。可能ならば、すでに開いている穴を使っても良い。
- (2) そこに、深井戸水中モーターポンプφ150mmを導入し、配管・流量計・バルブ等を設置する。ポンプは、エバラのステンレス製深井戸ポンプが良さそうである。(私はエバラの出身ではありません) 流量は毎時24トン以上、揚程も200m以上あるので、これ一台で循環が可能である。

<http://www.mekatoro.net/digianaecatalog/ebara-book50/Book/ebara-book50-P0340.html>

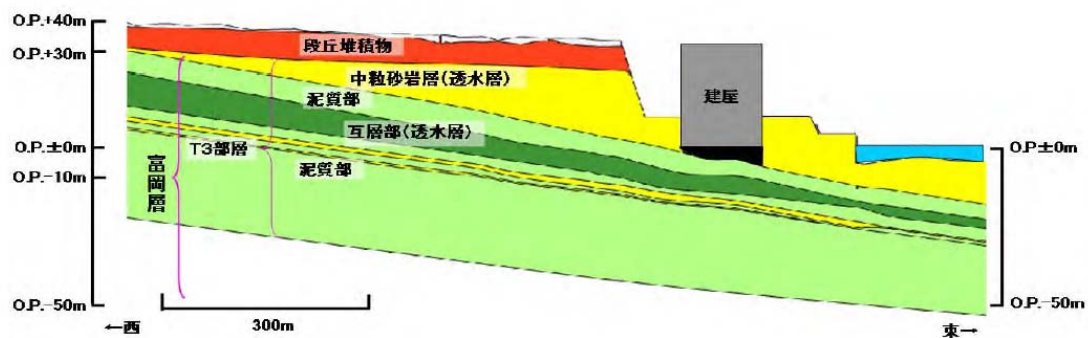
- (3) 次に、原子炉建屋とタービン建屋の間にある配線やピットなどの隙間を、コンクリートミルクや水ガラスで塞ぎ原子炉建屋を水密構造とする。この作業で漏水は止まると考えられる。この作業が終わった後で、注水量を増やして水位が独立に上がればOKである。若干漏れていても、第3章の手法で周囲の地下水位より若干低めの水位に保てば地下水の流入は最小限に保たれる。原子炉建屋は、設置面積が小さく建物基

盤が岩着しているので、漏水は限定的なはずである。

- (4) 最後に、ポンプを稼働させて循環冷却を行う。崩壊熱による発熱量が低下しているので、独自の冷却設備は必要ない。従来の注水設備もバックアップとして残しておく。必要なら、このラインから脱塩を行う。ただし、原子炉はもう压力容器ではないので、腐食による炉心破壊は考えにくい。
- (5) これで、タービン建屋と原子炉が分離されるので、タービン建屋の汚染水の取り出しと建物の除染・解体に着手できる。

3. 汚染水拡散の現状分析

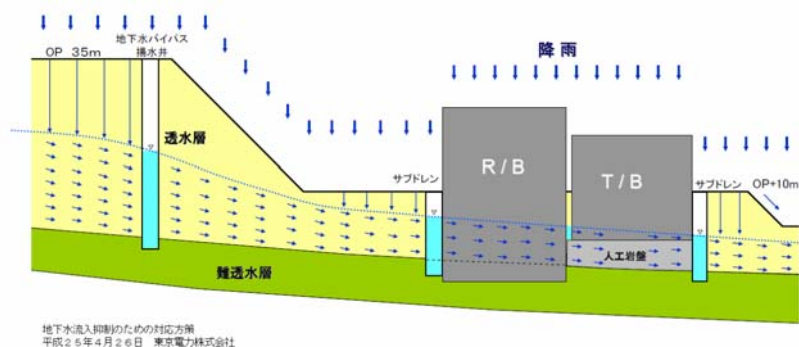
東電では、汚染水処理対策委員会立ち上げ、地下水流入抑制のための対策に関する報告書[2]を2013年5月30日に出している。委員会の第1回会合は4月26日で都合3回（最終回は5月30日）開催されている。筆者が汚染水の対策を(HTC Rep.27.1, 2013/03/11)で出したのは2013年3月11日なので、いくらかは参考にしているようである。



[地質断面の概略(出典:東京電力)]

地下水の流入抑制のための対策
平成25年5月30日
汚染水処理対策委員会

図1 原発周辺の地質断面 [2]



地下水流入抑制のための対応方策
平成25年4月26日 東京電力株式会社

図2 原子炉建屋（R/B）及びタービン建屋（T/B）の建設状態 [3]

図1は、原発地下地層の概略図を示している。地下水が流れている瓦層の上に透水率の低い泥質層が存在し、表層の中粒砂岩層の水が浸透することを防いでいる。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}cm/sec 程度、泥岩が 10^{-6}cm/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。[2]

図2は原子炉建屋とタービン建屋の立地条件を示している。原子炉建屋はこの泥質層に岩着する形で（泥質層を岩と見ているがこれは許されるのか？）建設されている。原子炉建屋は岩盤をむき出しにしてその上にコンクリートを積み重ねて作ることが原則であるが、当時はこの様な安定？泥質層の上に作ることが許されたのだろうか。タービン建屋は原子炉建屋ほど規制が厳しくないで、泥質層の上に地盤改良した人口岩盤を作りその上に建設されているようである。当時の人口岩盤の作り方は不明であるが、一般的には現場の土にセメントを混ぜ合わせて土壌改良をするようである。タービン建屋は原子炉建屋より脆弱なので水も漏れやすいと考えられる。

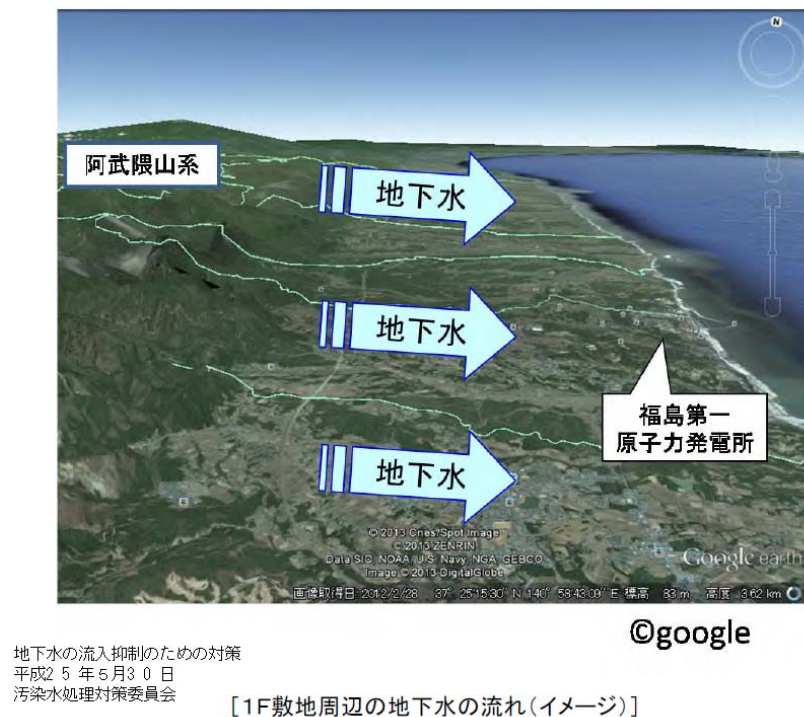


図3 福島第一原発周辺の地下水の流れイメージ [2]

図2と図3は原発敷地内の地下水の流れを示している。阿武隈山系からの地下水が表層の中粒砂岩層を流れている。この地下水位はかなり高く、原子炉建屋やタービン建屋の近いフロアよりも高い。いわば、原発は地中の川（伏流水）の中に建設されている。当時の状況（[3]の3頁）、ではこの様なことも許されたのかもしれない。しかし、原発事故が起きればそこから出た汚染水は地下水経路を通して環境

に漏れ出することは容易に想像できたはずだが、原発事故は起きない前提で物事が進んでいたのもこの様なリスクも意識的・無意識的に見逃されていたのだろう。

図 4 は、原発運用時の水位を示すが、やはり地下室の床よりも水位が高い状況では色々問題があったようで、原発そばにサブドレンという井戸を掘り、そこから水を汲み上げることによって地下水位を強制的に下げていた[3]。現在はその水のくみ上げを行っていないので、図 2 に示す「通常の水位」となり原発に大量の地下水が流入している。現在は、海岸付近に表層の地下水を止める防水ダムを造ったので当然のごとく地下水位が上がっている。山から流れてくる地下水は原発敷地より水位が高いので早晚地下から水がしみ出してくることが予想される。

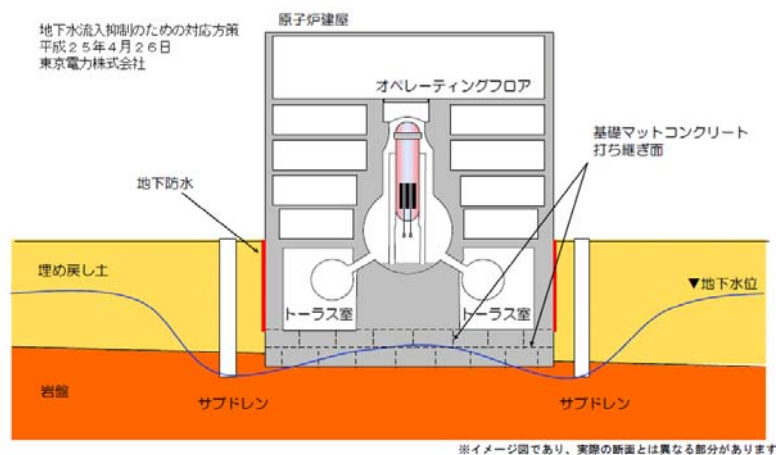


図 4 原発運用時の地下水位 [3]

海岸付近に地下防水層を作るまでは、この地下水は海に流れ込んでいたので、その地下水が汚染されていれば、その放射能は以前から海に流れ出ていたと考えた方が自然である。本レポート執筆時の 2013 年 8 月 9 日の報道では、山から日量 1000 トンの地下水が原発に流入し、日量 300 トンの汚染水が海に流れ出ていると言われている。ただし、同じ 300 トンでも建屋やトレンチの汚染水がそのままの濃度で漏れ出ていることは考えにくい。放射能の濃度は遙かに薄いはずなので、どの程度の放射能が漏れ出たのかは不明である。同じ量の汚染水でも汚染濃度が桁違いに異なる場合には扱いも異なることを理解すべきである。現在、原発の山側から地下水をくみ出す事を検討しているが、その水はたとえセシウム等を含んでいてもごく微量で、原発の建物地下の汚染水由来のものでない。もし、このくみ上げ水の排水も禁止すると、近郊の川や地下水から海に流れ出ている水も汚染水としなければならない。

地下水位が原子炉建屋やタービン建屋の汚染水水位より高いので、この地下水は原子炉建屋やタービン建屋地下に流れ込んでいる。その量は日量 400 トンと報道されている。この報道の後、筆者が 2013 年 3 月のレポート(HTC Rep.27.1, 2013/03/11)を出したので、建屋内の水位を調整し、地下水の流入は若干減っていると思われるが。

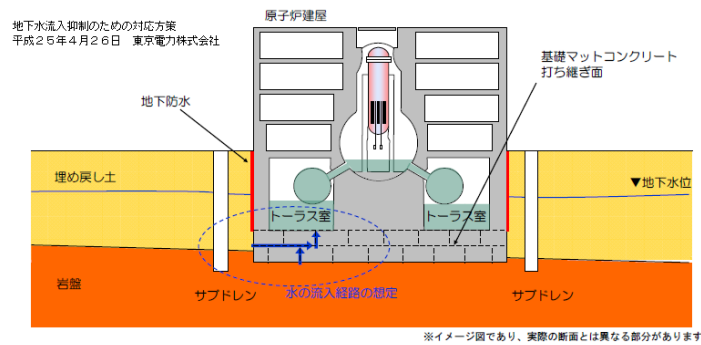


図5 東電の地下水漏洩経路推定 [3]

図5は東電が推定している地下水進入経路である。東電では、東日本大震災時に既存サブドレン設備の機能が損傷したとしている。基礎マット側面は地中土に接しており、この部分から建屋内に流入しているものと想定している。コンクリートの乾燥収縮によりコンクリートの打ち継ぎ面がひび割れ状となり水道が出来ているとの推定である[3]。このような経路も考えられるが、この場合割れ目が長いのでダルシー則を考慮すると漏れ量はさほど大きくないと考えられる。

タービン建屋は地盤が原子炉建屋より脆弱だと考えられることと、敷地面積が原子炉建屋よりかなり大きいことから漏洩の中心はタービン建屋だと筆者は推定している。この推定は、公開データのみであることと、筆者や土木に関しては素人なので、まだ筆者が知らないデータや現象があるかもしれない。

第2章で述べてきたように、筆者は事故後早くから地下の漏水を懸念し、多くの提言をしてきた。東電も、地下遮蔽を検討した形跡もある。しかし、色々な目の前の問題や事柄に忙殺されていたとはいえ、地下の遮水を怠っていた事是否めない。偶然かもしれないが、著者が2013年3月11日に地下水の漏洩防止策を提言(HTC Rep.27.1, 2013/03/11)（本レポート2.7節）してから、漸く「汚染水処理対策委員会」が4月26日に立ち上がり、5月30日に最終報告書を出している。原子炉容器の破壊面積の推定や、水位計が壊れていることなど、事故当初から筆者のレポート[1]が公表されてから、東電が同様のことを発表しているように、「偶然」は良くあることであるが。

4. 原子炉建屋で汚染水循環ができない謎 ～保安規定第133条（水質管理）の怪～

第2章に示すように、筆者は事故後早くから汚染水の直接循環を提言してきた。しかし、東電は汚染水を除染（放射能を移すだけ）して、脱塩してきれいにしてから一番汚い原子炉に戻す「循環注水冷却システム」に固執してきた。現在は汚染水を冷却しなくても循環させるだけで原子炉は冷える(HTC Rep.27.1, 2013/03/11)。直接循環が始まれば4kmに及ぶプラスチック配管からの漏れや作業員の被爆も大幅に改善される。仙台のタクシー運転手さんでも不思議に思う(HTC Rep.19.1, 2011/6/20)この非効率かつ危険な「循環注水冷却システム」をなぜ東電は固執するのかが筆者の長い間の疑問であった。

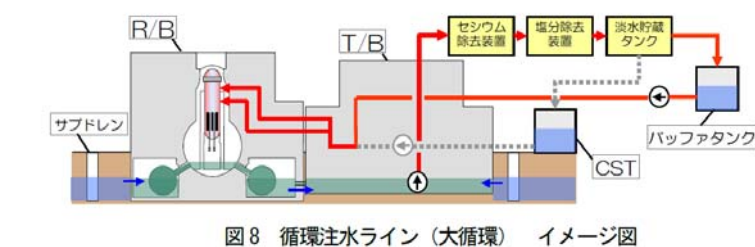
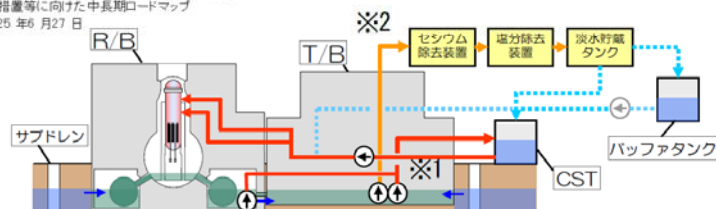


図8 循環注水ライン（大循環）イメージ図

東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の
廃止措置等に向けた中長期ロードマップ
平成25年6月27日



※1 取水位置等については、水質動向等を踏まえて継続検討中であり、検討結果に応じた系統構成とする予定

※2 建屋への地下水流入分の移送を意図しているが、汚染水対策等の状況に応じた系統構成とする予定

図9 建屋内循環ループ イメージ図

図6 現在行っている「循環注水冷却システム」と汚染水の屋内循環推定図 [5]

東電もロードマップ作成の頃から汚染水に小循環を検討していた。現在では、ロードマップ（2013年6月27日）で図6に示す汚染水の屋内循環を検討している[5]。しかしその予定は、下記のように全くゆっくりとした計画で、現状の汚染水漏洩と乖離している。

【目標工程】[5]

2014 年度下半期 建屋内循環ループの構築完了

2015 年度上半期 建屋内循環ループの開始

2016 年度中期～2017 年度中期 格納容器下部補修（止水）方法確定（HP CR-1）に向けた原子炉建屋及び格納容器下部からの取水設備設置完了

2018 年度中期 原子炉注水冷却ラインの小循環ループ化（格納容器循環冷却）の構築

東電でも、2013年3月に汚染水循環ラインの縮小を検討していた[6]。これも発表が2013年3月28日で、筆者のレポート(HTC Rep.27.1, 2013/03/11)の後で検討された嫌いがある。そこに現れたのが、「東京電力株式会社 福島第一原子力発電所の原子炉施設保安規定 第133条（水質管理）」（以後 第133条と略記する）である。この規定は、タンクに貯留する塩分イオン濃度を100ppm以下に保つことを定めている。この塩分イオン濃度の規制値は「水道水とほぼ同じ」で大変厳しい値である。著者は腐食の専門家ではないが、汚染水を「長期」に保存するためには水道水と同じ塩分イオン濃度とすることもあながち頷ける。

しかし、この規制値のために、くみ出した汚染水を逆浸透膜等の装置で淡水化する必要がある。有機物で作られた逆浸透膜は、放射能によって劣化するので、塩分を除く前に「まず除染する必要がある。」これが、著者の推定する、「一番汚いところに除染した水を再投入する理由」である。一つ一つの理由は正しいが、全てつなげると全くおかしいプロセスになっている。東電はこれを「忠実に実行し」やら

なくとも良い汚染水大循環を2年以上も継続している。それに携わる作業員の被爆も無視できない。

この第133条の由来は2012年12月22日に制定されているようだが、それ以前の経緯は不明である。この保安規定は、「法律・国の技術基準・事業者が定める技術基準」の3番目にあり、事業者が決めて規制庁が認可するものである[7]。つまり、東電が自分で決めた規制に縛られて、原子炉の収束事業が大幅に遅れていると考えざるを得ない。そもそも、筆者が提案している2.7節図4の汚染水循環は、貯留タンクもいないので、第133条の適用も受けない。東電でも、汚染水大循環の矛盾に気がついている方もおられると思うが、既存のシステムや規定を壊してまで「責任を取って」より早い原発収束を検討する人はいないようである。

筆者の1号機の事故解析(HTC Rep.26.2, 2013/03/03)では、非常用凝縮器(IC)のバルブを開け続け、ICの胴内に常圧の水を注入し続ければ今回の事故は起きなかったと推定している。1号機が助かれば、2号機3号機に対応する時間もあった。1号機のICの原子炉側弁が閉じるバルブシーケンスは「フェルセーフ」ではなく「フェルアウト」である。他の原発ではこんなシステムはないようだ。ジェネラルエレクトリック社(GE)の当初設計では、1号機にベントはなかったが、ICのA系とB系を作動させ続ければ格納容器は設計圧力に保たれるように設計されていたようだ(HTC Rep.26.2, 2013/03/03)。しかし、原発の長期運用が優先し、原子炉の温度変化を55°C/h(100°F/h、つまり適当な値)にするようになった。この様に、全体で見るとおかしいルールもそれが規則であると言うことで見逃されてきた。原発の作業員は「忠実に」その規則を守り、A系のみで温度制御を試みた。結果はごらんの通りである。東電は全てのルールを忠実に守っているが、そのルールがなぜ作られたかという事は考えていないようだ。今回の汚染水の大循環も、自分の作ったルールを守るために本質を見過ごしている可能性がある。

- ・塩分除去した水を注水することにより、地下滞留水の塩素イオン濃度は、経時的に減少している。
- ・原子炉建屋では、すでに水道水の塩素イオン基準値200ppmを下回っている。
- ・タービン建屋では、平成25年上半年には、概ね200ppm以下になると推定している。

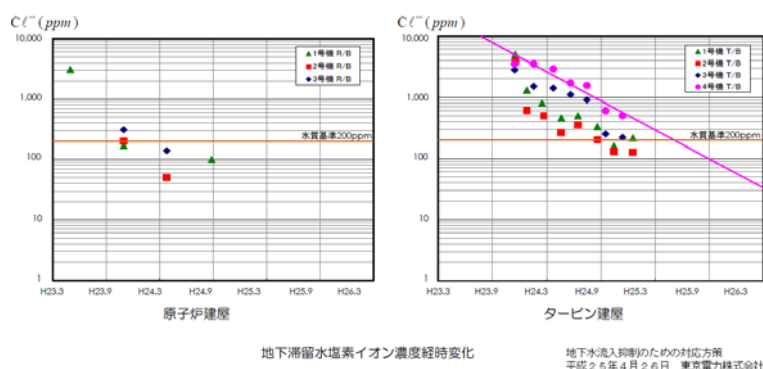


図7 原子炉建屋およびタービン建屋漏洩水の塩分イオン濃度 [3]

図7は、建屋内漏洩水の塩分イオン濃度を示している。原子炉建屋内の水はいずれも水道水の基準より塩分濃度が低い状態になっている。すぐにでも炉心水の循環ができる状態だ。東電が検討している小循環[6]の実施プライオリティは低いようであるが、これを早急に実施して無駄な汚染水大循環をやめるべきである。これと、次章に示す建屋の止水処理を行うことによって、原子炉の汚染水問題は収束すると考えられる。

5. 汚染水漏出を止める方法 ～地中「石棺」作戦～

チェルノブイリ事故では、決死隊がヘリコプター等でコンクリートや鉄片を原子炉に投下して原発を封じ込めた。福島事故直後でもロシアの研究者等がこの「石棺」作戦を推薦した。この作戦の基本は、とにかく、原子炉建屋中心部に何でも直接投入して放射線と放射能を封じ込める事であった。現在は、次の放射線シールドを建設する計画が進められているが、これは「石棺」が経年劣化し、さらに「外側のシールド」を恒久的に作る作業である。

現在、汚染水の流入・流出は待ったなしの状況であるが、東電は海側の止水や山側の地下水のくみ上げを検討している。さらに、トレンチは、原因となる汚染源を遮断すれば独りで収束すると考えられるが、その末端の汚染処理に忙殺されている。もちろん最終的には、トレンチは汚染水をくみ出したり汚染土を処分する必要があるが。

現在東電や建設会社では（[3]の資料 3.2-3.4）建屋を大きく囲った止水壁の提案をしているが、これはかなり恒久的な作業である反面、大変長い時間がかかる。企業としては完全なものを求められればそれなりの準備と経費をかけて、「完全な」止水ができるものを「ゆっくり」作るとは当然である。東電は、永久凍土で止水する方法を選んだようである。この方法は、チェルノブイリの「石棺」を作る前に「外側のシールド」を作るような作業である。緊急の場合には本末転倒の作業であると考えられる。

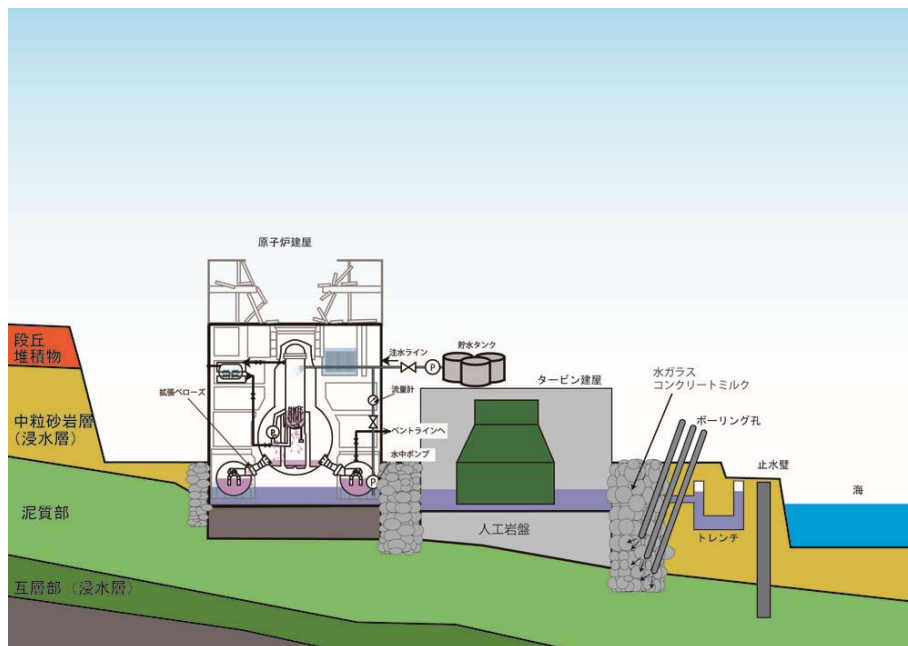


図8 「地中石棺作戦」による地下水漏洩防止と原子炉収束の提案

そこで、本レポートでは、チェルノブイリの石棺に相当する「地中の石棺」を緊急に作ることを提案する。図8に、その方法の概要を示す。放射能の漏洩を防ぐには先ず「汚染水は元から断たなきゃダメ」である。どんなに地下水の流入を減らしても、海側の漏洩を止めてもそれは間接的な対処療法である。完治させるためには元々の汚染源を地層の中で遮断する必要がある。それになるべく汚染源に密着させて遮断することが有効である。この工法は種々考えられると思うが、重要な点は「完璧で長持ちする工

法」よりチェルノブイリの石棺のように「多少雑で永久に持たなくても良いから、すぐ実行できる工法」である。以下にその手順を述べる。

- (1) 先ず、ボーリングで斜めの穴を掘りコンクリートミルク等を注入するパイプを原子炉建屋とタービン建屋の周囲に多数開ける。このとき、地中配管やトレンチなどがあってもお構いなしに穴を貫通させる。最終的には汚染源とそれらの穴は遮断されるのでボーリングによる破損は関係ない。地中の配線も、どうせ使わないのだから壊してもかまわない。順番としては先ず、タービン建屋周りに穴を開け、次に原子炉建屋周り、最後はタービン建屋と原子炉建屋の隙間である。2号機のように建屋に近づける場合は、建屋のすぐ横にボーリングすることや土壌改良の手法で止水することも考えられる。要はスピードだ。
- (2) その穴から、水ガラスやコンクリートミルクを注入する。もし地下水の流れが速い場合は、速乾性（すぐに固まる）コンクリートの注入を先にやる必要があるかもしれない。とにかくチェルノブイリの石棺作業のように止水できるものは何でも入れる。この技術はすでにトンネルの掘削で確立した技術である。今回は、建屋周りの地盤の変形も考える必要がない。もう使わない場所である。
- (3) この作業は二重三重に実施する。一重の作業で多少漏れていても、そのすぐ外側を固めることによって、水の漏洩・進入を完全に遮断する。
- (4) 遮断がすんだら、原子炉建屋とタービン建屋の水位を変化させて外部からの流入がないかチェックする。もし外部からの地下水流入がなければ建屋から放射能がこれ以上漏れ出すことはない。
- (5) トレンチやその他帯留水の処分は時間をかけてやる。必要なら地下水の水位制御も行う。
- (6) この「地中石棺」処理は永久的なものではない。各企業が提案する「外側シールド」は時間をかけてきちんと作っても良い。
- (7) この作業と平行して、2.7節で提案している汚染水の小循環を早急に実施する。
- (8) この小循環と、タービン建屋・原子炉建屋間の水路遮断が完成すれば、タービン建屋の汚染水はただの「汚染帯留水となるから」既存の除染・脱塩施設でゆっくり処理すればよい。その後、タービン建屋の解体にも着手できる。

6. おわりに

これまでの東電の汚染水処理はあまりにも場当たり的に見える。第2章で述べたように、筆者は汚染水処理の重要性を事故当初から述べていた。今まで、汚染水の大循環システムのように無駄な時間と経費を浪費し、さらには多くの被爆作業員を生み出してきた。このレポートが関係各位の参考になれば幸いである。

本レポート作成にあたり、図面作成に当研究室の守谷修一技術職員の助力を頂いた。ここに記して謝意を表す。最後に、2011年8月に掲載したレポートの一文を再録する

原発収束第2ステップに向けた提言

Heat-Transfer Control Lab. Report No. 21, Ver. 1 (HTC Rep.21.1, 2011/08/18)

おわりに

以上、1～3号機の原子炉炉心をいわゆる冷温停止する方策の提案を行った。8月19日の時点で、2号機は3千セ帯分の熱しか出していない。コンパクトな炉心水循環冷却を行えば原子炉の収束は可能である。現在の除染システムは原子炉の放射性物質を取り出し保管しているに過ぎず、吸着した放射能の最終処分も決まっていない。

政府や関係各位は、一日も早く原子炉からの放射能放出を完全に止めて、政府はそのことを世界に発信しなければならない。独りよがりの冷温停止では世界は納得しないし、近隣住民の帰宅や復興が早まることもない。

原子炉の第2段階の収束が終わったら、10年後もしくはそれ以後の「完全収束」を目指して、瓦礫の分類と高放射化瓦礫の隔離、汚染水の完全除染と環境放出、タービン建屋の解体と汚染物質の隔離、プールの燃料棒搬出と保管、原子炉建屋の隔離と安定冷却の継続、今後の津波や地震に対する設備の堅牢化と多重防備、を計画的に進める必要がある。

そのためには、一日も早い原子炉収束を目指して、4月17日に作った工程表に捕らわれず、早期に解決できるのならあらゆる可能性を検討すべきである。日本人は律令制を千年以上尊重し、戦後に作った憲法を60年も改正しない面白い民族である。しかし、法律を柔軟に運用して社会の変化に対応させてきた。自分の作った工程表に縛られ、何も出来ない国や企業ではないはずである。

参考文献

- [1] 東北大学流体科学研究所 圓山・小宮・岡島研究室、“福島第一原子力発電所事故の熱解析と収束プランの提案” <http://www.ifs.tohoku.ac.jp/~maru/atom/index.html>、(2011-2013)。
- [2] 地下水の流入抑制のための対策、平成25年5月30日、汚染水処理対策委員会
- [3] 地下水流入抑制のための対応方策、平成25年4月26日、東京電力株式会社
- [4] 圓山翠陵、小説FUKUSHIMA、養賢堂、2012年9月
- [5] 東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ、平成25年6月27日、原子力災害対策本部、東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議
- [6] 建屋内循環ループの早期実現及び循環ライン縮小に向けた検討について、平成25年3月28日、東京電力株式会社
- [7] 久宗健志、建水化学管理標準に係る取組みについてー水化学管理標準の概要ー、平成24年6月1日、日本原子力発電株式会社