

特集

福島原発事故とその教訓

第3回 汚染水漏えい

早川 光俊 (CASA 専務理事)

福島第一原発で、放射性汚染水の漏えいが頻発しています。福島第一原発では溶融(メルトダウン)した核燃料の冷却のため、毎日、原子炉に400トンを注水して循環冷却しており、これに400トンの地下水が原子炉建屋やタービン建屋に流入し、毎日、400トンの汚染水を増大させています。また1万トンを超える汚染水が原子炉建屋やタービン建屋の地下のトレンチ*1などに溜まっています。東電は汚染水から放射性物質や塩分を除去し、処理水は地下貯水槽や地上の鋼鉄製タンクに溜めています。こうした施設から汚染水の漏えいトラブルが頻発しています。原子力規制委員会は、こうした汚染水漏えいを、当初は国際原子力事象評価尺度(INES)のレベル1(逸脱)としていましたが、今年8月28日にレベル3(重大な異常事象)に引き上げました。今回の特集では、毎日のように新たなトラブルが報じられている汚染水漏えいの問題を考えてみたいと思います。

相次ぐ汚染水の漏えいトラブル(表1)

放射性汚染水の漏えい問題は、2011年3月の事故直後から重大で、深刻な問題でした。

2011年4月2日には、2号機の取水口付近の電源ケーブルピット*2から海にヨウ素やセシウム等の高濃度の放射性汚染水520トンが漏え

表1 汚染水漏えいトラブル

2011年	3月11日	事故発生
	4月2日	2号機取水口付近から高濃度汚染水が流出(推定4700兆ベクレル)。
	5月11日	3号機取水口付近から高濃度汚染水が流出(推定2兆ベクレル)。
2013年	4月	3基の地下貯水槽から高濃度汚染水が漏えい。
	6月19日	1号機と2号機の間観測用井戸の地下水から、50万ベクレルのトリチウム、1000ベクレルのストロンチウム90を検出との発表。
	6月24日	港湾の海水から、1100ベクレルのトリチウムを検出と発表。
	7月27日	海側に延びる地下配水管から23億ベクレルの放射性セシウムを検出との発表。
	8月19日	貯蔵タンクから300トンの汚染水漏えい。近くの観測井戸から79万ベクレルのトリチウム、40万ベクレルのストロンチウムが検出と発表。
	10月3日	貯蔵タンクの天板と側板の間から、0.43トンの汚染水が溢れ出る。
	10月	台風の大雨で、6個所の区画で用水漏れ。

いし、同年5月11日は3号機取水口付近のピットから250トンの高濃度汚染水の漏えい事故が起きています。その後も、配管や汚染水処理装置からの漏えいなどが続発し、その回数は今年9月までで60回を超えています。

2013年4月始めには、7基の地下貯水槽のうちの、使用されていた3基から高濃度の放射能汚染水の漏えいが次々と見つかり、東電は地下貯水槽の使用をやめて、汚染水を貯蔵タンクに貯蔵する対応策をとりました。漏えいした放射能量は、最初に漏えいをおこした2号地下貯水槽で、120トン、7100億ベクレル*3と推定されています。

*1 冷却用の海水をポンプでくみ上げてそれをタービン建屋に通すためのトンネルで、海水配管トレンチや、電源ケーブルを通すための電源ケーブルトレンチなどがあります。

*2 水道管や電線を土中に埋設するための角形の溝やU字形の溝をいう。コンクリートでつくられることが多く、前者を「配管ピット」、後者を「配線ピット」とよんでいる。

*3 ベクレルは放射能の強さを表す単位で、シーベルトは放射能の人への影響の強さを表す単位です。

6月19日には1号機と2号機の間を観測用井戸の地下水から、高濃度のトリチウム(三重水素、 ^3H あるいはTと表記)とストロンチウムが検出されたことが発表されています。6月24日には港湾の海水からトリチウムが1100ベクレル検出されたとの発表があり、7月10日には原子力規制委員会が、「汚染された地下水が海に到達していることが強く疑われる」と指摘し、7月22日には東電も汚染された地下水の海への流出を認めています。

7月27日には、海側に延びるトレンチ内の水から23億ベクレルの放射性セシウムが検出されました。

8月19日には、汚染水貯蔵タンクから300トンの漏えいが発覚し、このタンク近く(約20mの距離)の観測井戸から79万ベクレルのトリチウム、40万ベクレルのストロンチウムなどの放射性物質が検出されたと発表されています。8月31日には別のタンク群の地表5cmで1800ミリシーベルト 3 /時が観測されています。

10月3日には、タンクの設置場所に傾斜があることを把握しながら、貯蔵タンクを設置し、タンクに汚染水を入れすぎて、タンクの天板と側板の間から約0.43トンの汚染水があふれるトラブルを起こしています。このタンク内の汚染水にはストロンチウム90などの放射性物質が58万ベクレル(国の放出限度は同30ベクレル)含まれています。このタンクは3つが連動した構造で、一番上側のタンクには水位計が付いていたが、汚染水が漏えいした一番下側のタンクには

水位計は付いていなかったということです。

また、10月に相次いで襲った台風で、タンク群を囲む堰(せき)の内側にたまった雨水が溢れ、11箇所のタンク区画のうち6箇所で、暫定の排出基準値を超える放射性物質が検出され、最も高い場所では基準の約70倍。この汚染水が、排水溝を通じて外海に流れた可能性が否定できないとされています。

3つの漏えい経路

こうした汚染水の漏えいは、3つの経路に分類できます。

1つめは、事故直後に原子炉を冷却し、汚染された海水などが、原子炉建屋などのトレンチに貯まっていて、これが漏えいする経路です。

2つめは、山側から原子炉建屋に流れ込んでいる地下水が、メルトダウンしている核燃料に触れたり、建屋内から漏えいした汚染水と混じって放射性汚染水になりこれが漏えいする経路です。

3つめは、地下貯水槽や汚染水貯蔵タンクから漏えいする経路です。

トレンチなどからの汚染水

図1のように、原発には、原子炉の入っている「原子炉建屋」と、発電機(タービン)が入っている「タービン建屋」があります。「原子炉

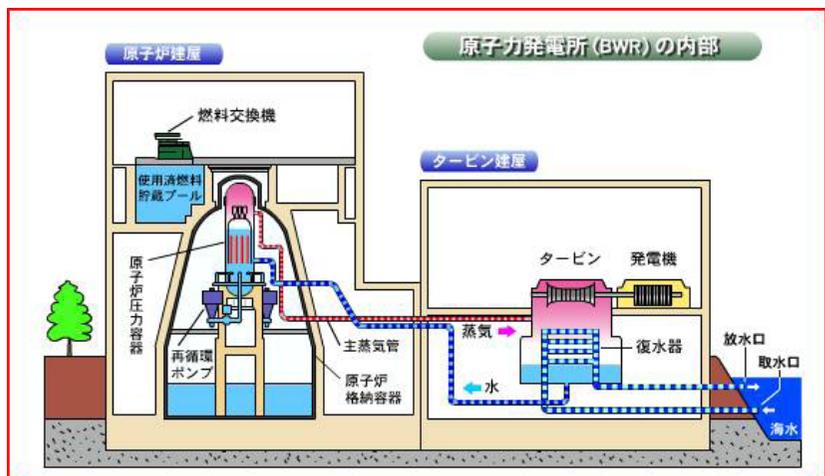


図1 原子力発電所(BWR)の内部

建屋」には、核燃料が入っている圧力容器とその外側に格納容器があり、核反応の熱で高温高圧の蒸気を発生させ、これが隣接して建てられている「タービン建屋」に送られてタービンを回して発電します。その蒸気は、海水を循環させる「復水器」で冷やされて水に戻り、また「原子炉建屋」に送られます。そのため、「原子炉建屋」と「タービン建屋」は、蒸気や水を通す配管でつながっており、また「タービン建屋」から海に通じる、数え切れないくらい多くの配管やトレンチが設置されています。多くのトレンチは、人が中を通してメンテナンスができるようになっていて、その長さは数十m、設置された深さも10m以上のものもあります。福島第一原発の1～3号機では、圧力容器が壊れ、格納容器の底部にメルトダウンした核燃料が溶け落ちていると考えられており、格納容器も壊れて、建屋の底のコンクリートまで核燃料が溶け落ちている可能性も指摘されています。こうした溶融した核燃料に、冷却のための海水や淡水が触れ高濃度の汚染水となって、配管やトレンチに溜まっており、その量は1万トン以上と推定されています。前述の2011年4月2日の2号機、同年5月11日の3号機の高濃度汚染水の漏えい事は、トレンチなどに溜まった汚染水が漏えいしたと考えられています。

地下水問題

福島第一原発では、事故前から地下水が大きな問題でした。東電の試算では、日量800トンの地下水が原発周辺を山側から海側に流れており、地下水によって原発建屋が浮かないように、1-2号機のまわりに27個、3-4号機のまわりに30個(図2、3)、福島第一原発全体では97個もの地下水のくみ上げ井戸(サブドレン)が設置され、1～4号機だけでも日量850トンの地

下水を汲み上げ、海に流していました。ところが、地震と爆発でこれらのサブドレンが壊れて使えなくなってしまい、そのため400トンの地下水が原発建屋やタービン建屋に流れ込んでいるとされています。すなわち、400トンの地下水が原発建屋に流れ込むほど、原子炉建屋やタービン建屋は壊れているということです。一方で、循環冷却水も日量400トン、原子炉建屋に送り込んでメルトダウンした核燃料を冷やし続ける必要があります。結局、流れ込んでくる400トンの地下水が余剰となり、これを地下貯水槽や汚染水貯蔵タンクに貯める必要があります。原子炉建屋に流れ込んでくる水量と、循環冷却水の量が同じなのは、建屋内の水位が地下水脈の水位より高くなると、流入経路を逆流して汚染水が建屋外に出る可能性があるためです。

本来は、地下水が流入している原子炉建屋やタービン建屋の破損箇所を塞ぐのが、一番有効

1, 2号

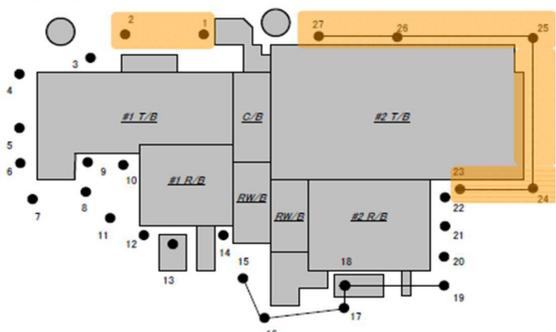


図2 1号機・2号機のサブドレン

3, 4号

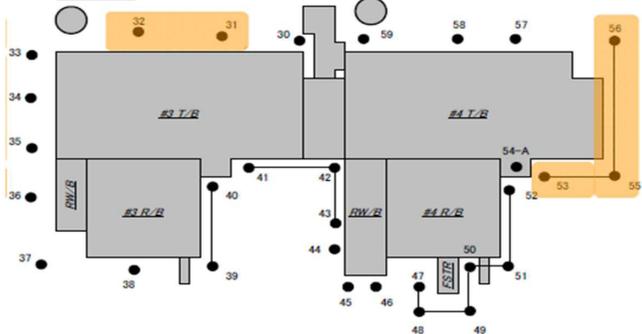


図3 3号機・4号機のサブドレン

な対策ですが、高濃度に汚染された建屋などに近づくことは不可能で、建屋の破損箇所などはまったくわかっていません。

地下貯水槽や貯蔵タンクから漏えい

地下貯水槽や貯蔵タンクからの漏えいは、地下貯水槽や汚染水貯蔵タンクの設計や工事のミスやコスト削減を図った結果、起こった明らかに人為的なものです。

地下貯水槽は、建屋内の滞留水を処理した後の汚染水を貯留するためのもので、地面を掘り込み、三重のシートを敷いた構造になっています。問題は、この地下貯水槽を建設した中堅ゼネコン、前田建設工業（東京都千代田区）が過去に手がけた産業廃棄物処分場で、今回の地下貯水槽に使われたのと同様の水漏えい防止シートが破損するなどのトラブルを続発させていたことです。山梨県北杜（ほくと）市の産廃処分場「明野処分場」は、前田建設工業を中心とする共同企業体が建設し2009年5月に操業開始しました。明野処分場の底面は水漏えい防止のために厚さ1.5mmの合成樹脂のシート2枚と、粘土質の層を重ねた3層構造になっており、この構造は福島第1原発の地下貯水槽と基本的に同じです*4。明野処分場は操業から半年間で、51カ所のシートのはがれが起り、施工ミスで8カ所でシートの上に水が入り、操業開始後9か月目の2010年1月にはシートの1枚目が50cm四方で破れたそうです。山梨県は前田建設工業などを相手に裁判を起こしています。こうした既にトラブルを起こしていた業者と工法を選んだことに根本的な問題があります。

貯蔵タンクからの漏えいについても、同じです。このタンクは、直径12m、高さ11mで、1000トンの汚染水を貯蔵できるとされていますが、焼き入れをしていない普通の鉄板を継ぎ

合わせる構造で、接合部は溶接せず、シリコン系のシーリング材（パッキン）を噛ませ、ボルトで締めて止水する構造になっています。こうした構造のため、当初から接合部からの漏えいが心配されていました。また、パッキン材の耐用年数は3～5年程度とされており、耐久性にも疑問が呈されていました。東電は、前述の300トンの汚染水が漏えい起こった原因は、パッキンの一部にズレが生じたためと原子力規制委員会に報告しています。福島原発内には、貯蔵タンクが計956基あり、このうち漏えいした貯蔵タンクと同じ型（フランジ型）のタンクは約300基あります。東電は、漏えいが少ないとされる溶接型タンクに順次置き換え、タンク内の汚染水の放射性物質濃度が高いものから優先的に交換する方針を明らかにしていますが、入れ替え作業がいつ完了するかについては、明確にいません。

こうした汚染水が外洋に漏れている可能性があります。安倍首相は、オリンピック誘致のプレゼンテーションで、福島状況を「私が安全を保証します。状況はコントロールされています（The situation is under control）」、「汚染水は福島第一原発の0.3kmの港湾内に完全にブロックされている」と発言しましたが、真っ赤な嘘です。確かに、堤防や水中カーテンで仕切られていますが、湾内の海水は外洋と出入りしており、福島沖の海底には約40カ所の放射能のホットスポットが見つかっています。

見送られた陸側遮水壁

事態をここまで深刻化させたのは、東電の無責任で、利益優先の体質にあります。

事故直後、政府・東京電力統合対策室で中長期対策チームの責任者であった馬淵澄夫衆院議

*4 福島原発の地下貯水槽は、内側から1.5mmのポリエチレンシート2枚と、6.4mmのベントナイト（粘土）による遮蔽構造。シートの間には緩衝材として不織布（ふしょくふ。繊維を織らずに絡み合わせたシート状のもの）が敷かれている。

員は、以下のように述べています*5。

「福島第一原発は断崖を削って地下水より低い位置に建屋を構築しており、地下水に注目するのは自然だった。だが、東電は『一切、影響はない』とにべもなかった。」

「そこで原発が稼働した1971年以降の情報を洗い直し、1～4号機の建屋に地下水が侵出し、止水工事を繰り返していた事実をつかんだ。原発は地下水の流れの中に建っているようなものだった。4種類の遮水壁の工法を検討し、建屋の四方を地下30mの粘土層まで掘り、粘土状の四角いバスタブのような壁を造る工法を採ることになった。」

「建設に1千億円の費用がかかるため、菅直人首相、海江田万里経産相は国のプロジェクトとすることで了解していた。なのに、2011年6月14日の発表前日に東電が計画の公表をひっくり返した。」

「東電は、6月28日に株主総会を控え、有価証券報告書の監査期間に当たっていた。東電が新たに1千億円を債務に抱え、債務超過になるのではないかとみられれば、市場の混乱を招くというのが理由だった。当時の武藤栄副社長は遮水壁の『調査を行う、と発表させて欲しい』と海江田氏に伝えてきた。私は、武藤氏が『(遮水壁の建設自体は)遅滞なく進める』と約束したので了解した。」

東電は、2011年10月26日に、突然、陸側遮水壁は設置すべきではないと発表し、陸側遮水壁の建設は中止され、海側の遮水壁の工事に2012年4月末になってやっと着工しました。工事は今も続いており、来年9月から運用を開始するとされています。

本年9月3日、政府の原子力災害対策本部は、「汚染水問題に関する基本方針」を発表し、「今後は、東京電力任せにするのではなく、国が前面に出て、必要な対策を実行していく」とし、

①井戸による地下水くみ上げ、②海側遮水壁の設置、③陸側凍土遮水壁の設置、④汚染水浄化設備の高性能化、の4つの抜本対策を来年度中に実施するとしました。

この陸側凍土方式は、鹿島建設が提案したもので、適切な深度まで、所定の間隔(例えば1m間隔)で凍土管を建屋を囲むように埋め、マイナス40℃の冷却材を循環させて凍土を造るとされます。その総延長1400mに及びます。凍土を維持するために、400kWの冷凍機が14台必要で、建設費は320億円、工期は概ね1年程度で、ランニングコストは年数十億円とされています。

この凍土方式には、以下のような利点があるとされています。

- ①凍土は、融解しない限り遮水機能を維持する。
- ②地震などによって割れ目が生じても、再固結する自己修復性がある。
- ③電源を喪失しても数ヶ月から1年程度は完全には融解しない。
- ④凍土の温度をモニタリングすることで、健全性を確認できる。

この凍土方式はトンネル工事などで小規模での実績はあるとされていますが、これほど大規模で、長期にわたる前例はありません。地下水抑制対策は、少なくともメルトダウンしている核燃料の空冷化が可能になるまでの長期にわたる対策です。地下水の挙動、とりわけ岩盤内の地下水の挙動は極めて複雑であり、現地の地質構造を正確に把握することや、現地での実証実験は不可欠です。また、長さ1.4kmもの壁を同時に凍結させることは不可能との指摘もあります。

この陸側遮水壁については、凍土方法の他に、大成建設が粘土鉱物を主体とする地中の壁を造成して地下水を制御する粘土遮水壁方式

*5 2013年9月25日、朝日新聞朝刊。

を提案し、安藤・間建設が碎石を充填して連続壁を地中に設置し、最後にセメントミルクなどを碎石に注入して遮水壁を構築する方式など複数の方式が提案されていましたが、提案した鹿島建設の室内実験結果などだけで、凍土方式が採用されています。

汚染水の処理

放射性物質を含んだ汚染水は、汚染水からセシウムを吸着したのちに再び原子炉に循環させて冷却に利用する循環冷却システムで処理されています。この循環冷却システムとして、最初に採用されたのはフランスのアレバ社とアメリカのキュリオン社の装置でした。しかし、稼働当初からトラブルの連続で、度々停止し、稼働率も悪かったと報道されています。2011年10月からは、東芝を中心に開発された新装置「サリー」が稼働しています。浄化システムで約10分の1の濃度に浄化された処理水は、塩分を除去された後に多核種除去装置（アルプス）で、サリーなどでは除去できなかった放射性核種を除去することになっています。しかし、このアルプスも2012年8月の試験稼働開始直後からトラブル続きで運転を停止し、今年9月27日に試験運転を再開しましたが、その実用性・実効性には大きな疑問があります。

このアルプスでも取り除けないのが、トリチウムです。タンクなどに貯蔵されている処理水のなかには、850～4200Bq/cm³のトリチウムが含まれています。トリチウムは半減期12年で、β線を出す放射性物質ですが、化学的には水素と同じ性質で、H₂OのHと置き換わってトリチウム水（HTO）を作ります。トリチウム水は化学的には水と同じ性質なので、水から分離できません。また、生体中にも容易に取り込まれ、内部被曝をおこします。

除去された放射性廃棄物は、スラリー（泥状の汚染物）として、タンクなどに貯蔵されます

が、最終処分については何も決まっていません。

原子炉廃止に向けた中期ロードマップと汚染水

今年6月始め、政府、東電、原子炉メーカーなどで行っている廃炉対策推進会議は、事故直後の2011年4月に発表された、「福島第1原子力発電所・事故収束に向けた道筋」を改訂し、事故を起こした原子炉の廃炉に向けた中長期のロードマップを発表しました。今回のロードマップは、「道筋」が事故炉の個別の状況を考慮していない一律のものでしたが、今回のロードマップは事故炉の状況を踏まえて、個別の作業スケジュールを提示しています。

表2 中長期ロードマップ

	使用済み燃料取り出し	燃料デブリ取り出し
1号機	2017年度下半期	2021年度上半期
2号機	2017年度下半期	2020年度上半期
3号機	2015年度上半期	2021年度下半期
4号機	2013年11月	

今回のロードマップは、事故機ごとにいくつかのプランが示されており、使用済み燃料の取り出し開始と燃料デブリ（メルトダウンした燃料）の取り出し開始の最速のプランは表2のとおりになっています。

今の段階では、メルトダウンした核燃料が、どのような形態をしているか（塊り状か、粉末状か）もわかっておらず、建屋についてもその耐震性やデブリの除去装置が設置可能かどうかともわかっていません。もし、建屋に耐震性がなかったり、建屋に除去装置が設置不能の場合は、工程が大きく変わることになります。そして、何の作業をするにしても、高濃度汚染水の漏えい個所の調査、補修をし、汚染水を除去をしないと、デブリの取り出し作業はできません。

汚染水問題が、今後の廃炉に向けたスケジュールの鍵を握っています。