

甲第445号証

ISBN978-4-7783-1511-5
C0030 ¥2300E

定価(本体2,300円+税)



9784778315115



1920030023000

福島第一原発廃炉図鑑

開沼博編

太田出版

第一原発
福島
廃炉

Encyclopedia of
the Decommissioning of the Fukushima
Nuclear Power Plant

開沼

福島第一原発の地下水漏れと汚染水問題

「汚染水」という言葉。1号機炉のニュースでもつぶやく聞いた言葉でしょうし、その内容を詳しく理解している人もいると思います。

この汚染水とは何なのか。なぜ増え続けるのか。たゞえ話をするならば、こういうことです。

皆さんの身近にある川。この水は山のほうから海に向かって流れています。日本列島の背骨のような山々が分水嶺となつて日本海側と太平洋側に雨水が流れていくわけですね。

実は、これと同じことが地下水でも起っています。

福島第一原発オンサイトの地下はミルフィーのように地層が積み重なつてしま

す。粘土のように水を通しにくい層とそうでなく土砂の粒子が粗くて水が流れやすい層とがあります。この「水が流れやすい層」が地表近くの部分にあつてこれを山側から海側に、方角でいうと西から東に向かって水が流れているのです(→88・89ページ)。

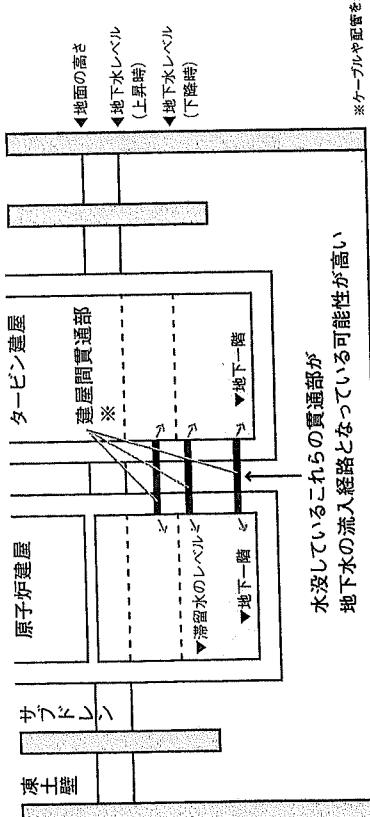
この水が事故を起こした建屋の下に入るなど高濃度の放射性物質で汚染された水と触れます。触れるといつても、イメージがつかないかもしれません、建屋にはケーブルや配管などのための細かい穴が合計880箇所以上あります[図1]。

[図2]は、そしだ真通口のイメージを図解したものです。ここを通して地下水が建屋の中に入つて、そこに溜まつてゐる水

地下水中には汚染物質が常に水没しているときと空気中に漂う状態が33.4%、干ばつ・ドレン時、海底で砂がアトモスферガスを含む30%ある

部位	高さ	位置	高さ	位置	高さ	位置
1号	218	95	36	87	88	98
2号	183	137	28	18	148	34
3号	225	126	17	82	132	43
4号	254	135	16	103	127	103
合計	880	493	97	290	495	278
全体比	-	67%	-	33%	56%	31%

[図1]～[図4]機本館地下外壁の貫通部について「高さ」と「部位」で分類
※1 水没する貫通部のうち建屋間にある貫通部合計(495箇所)÷水没している貫通部(590箇所)=84%
※2 12月から1月までのサブドレン水位測定値の最大値と最小値を地下水位として分類
出典: http://www.epeco.co.jp/nu/fukushima-np/roadmap/images/c130516_05-j.pdf



水没しているこれらの貫通部が
地下水の流入経路となっている可能性が高い

凍土壁が完成するまで福島第一原発1～4号機建屋の地下に入している地下水の量は1日あたり何m³?

1日あたり 150m³

これは、ペットボトル内の水位が川の水位よりも高くなる場合です。ペットボトル内の水位がまわりの水の水圧よりも高いわけです。逆に、ペットボトル内の水位が川の水位よりも低くなると、川の水がペットボトル内に入つてくる。ペットボトル内の水圧が相対的に下がるわけです。

1号の1～4号機の建屋がこのペットボトルだとすれば、その中の水は放射性物質が含まれている「汚染水」です。だから、川に流すわけにはいきません。一方で、建屋(ペットボトル)の中に一滴の水が入る分にはいいけれど、入りすぎるのも困ります。「汚染水」がさらに増えるからです。

そこでどうするかといふと、水位を絶妙に調整します。川の水位を建屋(ペットボトル)の中の水位よりも若干高くしておけます。具体的にどうしているかといふと、建屋のまわりに井戸を掘つてそこから水を汲み上げながら、自動的に水位計で測りながら、ほどよい水位になるように汲み上げ量を調整しています。

この井戸の一つが「サブドレン」です。

これは事故前から存在していました。当然、事故前から工事の下には地下水が流れています、1号全体で1日に約1500t、1号4号機で約850tの水をサブドレンでくみだして海に捨てているほどでした。それは、この浮力によって建物が傾く可能性があつたからです。何万tのタンカーだって水に浮く。ああいう現象が原子炉建屋にも起つて。それを防ぐために「サブドレン」は全国の原発に元々あります。

事故後も1号4号機の建屋の下には1日400tの水が入ってきていました。この水の分だけ「汚染水が増え続ける」とになります。

どうひうりとか。リリで理解しておけば建屋には大きく一つあります。山側にあるのが「原子炉建屋」。原子炉が入っているいわば「本体」です。海側にあるのが「タービン建屋」。その名のとおり発電するためのタービンが入っています。

最初に地下水は原子炉建屋に入り、燃料デブリに触れた汚染水と混ざります。汚染された水の量が増えるわけです。さらに、

原子炉建屋からタービン建屋に汚染水が流れこみます。原子炉建屋とタービン建屋との間には電源ケーブルを通す配管など細かい穴があり、そこから水が漏れ出してタービン建屋にも汚染水が入るわけです。

そのまま放置すると汚染水が建屋に溜まつてしまい、海側トレシチを通して外に溢れ出て海に漏れ出すことになる。そこで、どうするか対応しなければなりません。

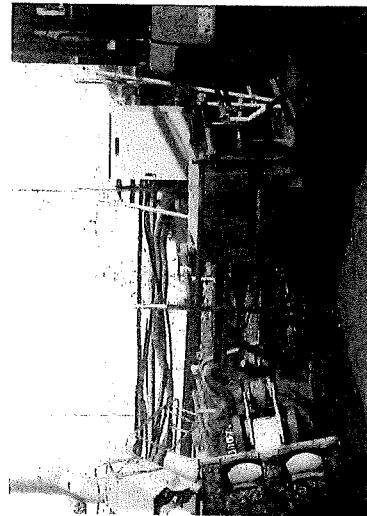
これが汚染水問題です。

原子炉建屋下の汚染水問題

ただ、これは「ある程度落ちていた状態」です。事故直後は大変でした。

そこでは事故直後から「ある程度落ちていた状態」にいたるまでの流れを説明します。

事故直後、津波の影響で非常用電源も含めた電源設備が水没し、1号4号機すべての電源が止りました。その結果、燃料を水で冷却するシステムが使用できなくななり、原子炉の中の燃料が高温になつて燃料



後ろにある壁は原子炉建屋で、その手前にあるのがサブドレンヒット。1~4号機周辺に全部で41基ある(2015年11月18日撮影:吉川英治)

自体が溶け出しました。できたのが「アリ」と呼ばれるかたまりです。これは原子炉の中の「圧力容器」という金属でできた容器の底を溶かして突き抜けました。燃料アリを冷やさないとさらに発熱してまわりのものを溶かし、放射性物質も発生してコントロールができなくなります。被害を拡大させないためにはこれを水で冷やさな

ければならない。そこで原子炉の中や「使用済燃料アール」と呼ばれる使い終わつた燃料やこれから使う新しい燃料が入つてゐるアールを冷やすため、原子炉建屋に水を入れようという作業が始まりました。

はじめは前例のない事態を前に躊躇したり的対応と想定外のトラブルが続きました。ヘリコプターに吊るされたバケツで使用済燃料アールに水を入れようとしてつまづかなかなかつた映像を覚えている人も多いでしょう。

すぐに海水を汲んでポンプで水圧をかけて水を注ぎ入れる流れができましたが、現場では細かいトラブルが発生します。たとえば、ホース一つとっても混乱しました。

最初、注水には消防車用のホースが使われました。消防車用のホースは一本50m、重量で嵩張らず、持ち運びやつなぎあわせての使用が便利なためです。しかし、使ううちにすぐに穴が開いてしまうことがわかりました。通常の火事で消防車がホースを使うのは火が消えるまでの間のみ。長時間、高い圧力で使うことを想定して作られ

ていないためです。また、一定の強度のあるホースを調達したあとで、長いホースが必要になつたときにホース同士を連結しようとしましたところ、連結部がすべて（オス・メスの）オス同士で連結することができず、間にはある「カブラー」と呼ばれる接続部品を「構内企業」と呼ばれるグループ会社がその場で作つて間に合わせたこともあります。

現場ではトラブルのたびにその場にあるものを使ってのギリギリの対応がとられました。もうとも大きなトラブルは、高濃度汚染水が建屋から海につながる管を通して海に流出してしまつたことでした。そのときとられたのが「ビーバー作戦」でした。2014年に話題になった「吉田調書事件」で有名な当時の吉田所長が「ビーバーが巢を作るように、木のおが屑でも新聞紙でもなんでも塞つこんで水を止める」といつて始まった方策です。事故直後は物資調達ができます、あるものでふがくしかなかつた状態がありました。最終的には「水ガラス」と呼ばれる水中で固まる素材を管

に注入する土木技術を用いて止水しました。このときに海に放出された水は15m/h（1時間で15m被ばくしてしまう）レベルの放射線量、簡単には人が直接扱えないレベルの高濃度の汚染水です。このような初期のトラブルの中で排出された高濃度の汚染水の中で泳いだり餌を食べたりしていた魚が、現在も稀に存在する放射性物質の基準値超えの魚になつています。詳細は小松理慶さんの原稿（→306～310ページ）を参照してください。

原子炉建屋下の汚染水問題

そういうトラブルを乗り越えながら原子炉への注水が始まりました。当初、この水がどこにいくのか、関係者も想像しきれずいました。原子炉にできた穴から漏れて、サブレッシュンチエンバー（圧力制御室）にいくことまでは想像できる。ただ、その水が、さらにじりに流れいくのか、現場で作業していた人たちも予想できなかつたんです。事故直後、「タービン建

屋に電気工事で入った人の足が水に浸かつて「機械をした」というニュースがあつたのを覚えている人もいるかもしませんが、これは、そういうた「水の動きが想定できない状態」の中で起つたじでした。

まあなく、原子炉に注入した水が汚染水となつて、原子炉が入っている「原子炉建屋」の外にまで漏れ出はじめているのがわかりました。かといつて水の注入をやめるわけにはいかない。水を注ぎ続けるければ再び燃料の温度が上がって大変なことになります。

そこで、応急処置的に（原子炉建屋ともタービン建屋とも違う）「アロセス建屋」の地下の部屋に止水工事をして汚染水を貯めることにしました。アロセス建屋の地下には事故前、液体の放射性廃棄物を処理するためのタンクやポンプが置いてありました。リリニ工事現場で使われる「カナフレックス」という耐圧ホースで汚染水を流してしまいました。

その間に「金属製の貯蔵タンクを大量に用意してそこに汚染水を貯めていく」と

うに、「貯蔵タンクにすべての水を流すのではなく、一部を再び建屋に戻し、燃料冷却に使うことで汚染水発生量を減らす」という今に續く方法が確立されます。つまり、それまでは燃料を冷却するための水が「海から建屋へ貯蔵タンク」と動き、汚染水が発生していました。ただ、この量を少しでも減らす必要があった。そこで「建屋ポンプなどで外に出して放射性物質を除去する」再び建屋へ貯蔵タンク」と水を「循環冷却」する仕組みを作りました。

この循環が確立して、燃料の温度上昇も穏やかになつたところから、「ある程度落ち着いた状態」になつたわけです。

汚染水を貯蔵する方法

現在にも續く「ある程度落ち着いた状態」ですが、そこには大きな課題があります。それは「いかに汚染水から放射性物質などを取り除くか」ということです。

先に触れたとおり、事故直後の汚染水はISV／Uほどのものもありました。これ

は高濃度の汚染水です。また、循環冷却が安定しているとしても、汚染水が循環しては原子炉建屋の汚染源に触れ続ける限り汚染の濃度が高まって危険です。さらに、当初はなるべく早く、多くの水を建屋に入れて冷却しなければならない、ということで海から直接海水を汲み上げていたため、金属を腐食させてしまう塩分やゴミも混ざっていました。はじめのこの建屋の中にはイワシやボラのような小魚が泳ぎ、海藻が浮いていたりなど状況だったといいます。そういう意味での「汚れ」も取る必要がありました。

汚染水が循環する過程でこれらが浄化されるような仕組みになれば、貯蔵タンクの中の水が持つ放射性物質は減り、汚染水処理のシステム全体のリスクは下がります。たとえば、貯蔵タンクから水が漏れるような事故が起つた際にも危害が食い止められます。

実際に、貯蔵タンクから汚染水の水漏れがあつたことを覚えている方も多くいるでしょう。これは、汚染水が急増していた事

故直後に、とにかく貯蔵量を確保するため、調達や組み立ての容易さから採用された「フランジ型タンク」ゆえの問題でした。これは部品をボルトで締めながら組み立てるタイプの汚染水タンクで、部品ごとの隙間が開きやすくて水が漏れてしまつたのです。その後、長期保管を見通して汚染水漏

れのリスクを下げるために、溶接して組み立てるタイプの貯蔵タンクに切り替えられました。

事故直後、汚染水から放射性物質を取り除く仕組みをとにかく早く用意しなければならない状況がありました。それは、現場での言い方を借りれば「通常、設計・調達・許認可手続きなどで4年ほどかかる規模の設備を実質、2カ月で用意しなければならない状態だった」とも言われます。

これが実現できた背景には二つのポイントがありました。一つは海外のノウハウ。事故後、汚染水から放射性物質を取り除く技術を世界中に求めた中で採用されたのが米国のスリーマイル島原発事故のときに汚染水対策をしたキュリオント社とフランスの原子力開拓大手のアレバ社の技術でした。国内には大規模なトラブル・事故の経験がなかつたため、これらの技術が役に立ちました。

もう一つが、国内に蓄積されてきた施工技術です。汚染水への対策・対応は、いわば「最新鋭の化学プラントを開発・設置す

る作業」といつてもよいものでした。

既成品ではなく、オーダーメイドでその場

の環境にあわせてパイプや汚染水タンクを

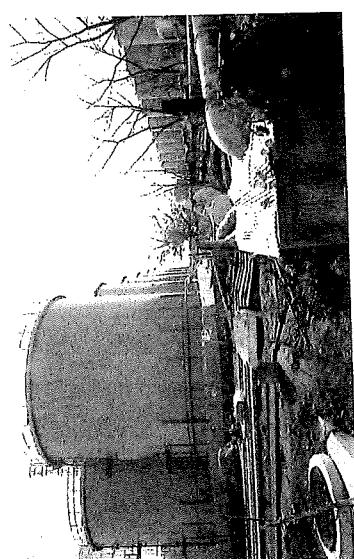
組み合わせて巨大な汚染水処理のシステム

を作る。

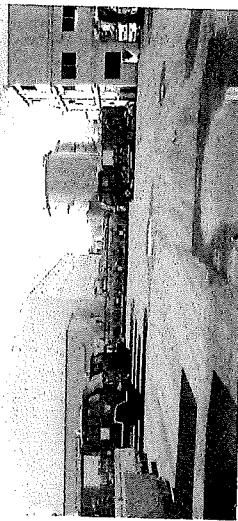
液体が漏れないように正確に、耐久性があるよう金属同士をつなぎ合わせる必要がある。高度な溶接を迅速に行っていく必要があります。東芝、日立、日揮といった日本を代表するアントメークーが日本中から腕の立つ溶接工を集めました。京浜から、北九州からと集まつた職人たちがタイベックに全面マスクで、今は比較にならないほど放射線量が高い中、3交代・24時間休むことなく作業を続けました。彼らの仕事は丁寧で素早く柔軟性もあり、彼らが溶接した部分は今も漏洩・故障はないと言われています。

汚染水対策はどうなっている？

「国内技術の活用」という点では、海水淡化装置も重要です。当初、燃料冷却のため、



現在、汚染水タンクや廃棄物が置かれるエリアの多くは、事故前、草木が生え、自然が残る場所だった。余裕を持った土地利用をしていたことが事故に対応に幸いした部分も大きい



新潟・宇都宮で度々報じられてきた多核種除去設備(ALPS)だが、実際に建物の前に立ってみると倉庫のような雰囲気を見た目。しかし、ここに高度な技術が結集されている。

建屋には海水が注入されていましたが、海水は機器を傷めやすいため塩分を取り除く必要がありました。そこで循環冷却システムの中に淡水化装置も挟みこまれましたが、これに活かされた技術は本来、中東や東南アジアなどで飲み水などの確保のために使われてきたものでした。そこに使われる「逆浸透膜」と呼ばれる部品は東レや日

東電工が世界シェアの大きな部分を握ってきたもの。こういった原子力と関係なさそうな技術も活用されていました。

ただいすれも、これだけ大量の塩分を含んだ汚染水を中長期間にわたって処理することを前提にしていないため、常に故障などトラブルが発生し、メンテナンスを繰り返しながら使用されてきたのが実状です。

そんな中、2013年3月、転換点が訪れます。「ALPS（アルプス）」と呼ばれる「多核種除去設備」での処理の開始です。この開発がうまくいくまでは何度もトラブルがありました。「ALPS、また動かす」という切り口のニーズが繰り返し駆け巡ったのを覚えている人もいるでしょう。新設備を作るとき、通常は工場で実験を重ね、現場で問題が起きないことを確認してから納入されます。しかし当時はそのような時間的余裕はなく、初めて作ることもあり、「トラブルは起きて当然」の特殊環境下でした。要是現場で試行錯誤しながら作るしかないように追いついていたといふことです。

ALPSが動いた意義は大きいものでした。これが出てくるまでは汚染水の中のセシウムしか除去できませんでした。他の放射性物質は水の中に残ってしまいました。しかし、ALPS導入によって62種類もの核種・放射性物質を除去できるようになりました。

現在では、処理能力を高めるため既設の多核種除去設備のフレンドアップ版が増設され「増設多核種除去設備」「高性能多核種除去設備」も含めた3種類が存在します。「既設」「増設」は各々、1日750m³/日の処理能力なのにに対して、「高性能」の処理能力は500m³/日で廃棄物の発生量が20分の1になっています。これは、「高性能」がシンプルな「フィルタ方式」であるのに対して、「既設」「増設」が「離液沈殿方式」という少し複雑な方法で処理をしていたためです。常に改善がなされてきた一例と言えるでしょう。

（参考）ALPSの構造概要

