

## 原子炉の基本は水だ

### ～福島第1原発の汚染水対策について～その1



グローバルウォータ・ジャパン代表 国連環境アドバイザー 吉村 和就

1972年荏原インフィルコ入社。荏原製作所本社経営企画部長、国連ニューヨーク本部の環境審議官などを経て、2005年グローバルウォータ・ジャパン設立。現在、国連テクニカルアドバイザー、水の安全保障戦略機構・技術普及委員長、経済産業省「水ビジネス国際展開研究会」委員、千葉工業大学非常勤講師などを務める。著書に『水ビジネス 110兆円水市場の攻防』（角川書店）、『日本人が知らない巨大市場 水ビジネスに挑む』（技術評論社）、『水に流せない水の話』（角川文庫）など。

福島第1原子力発電所の汚染水漏れ問題が日々、報じられている。原発事故から2年以上経過しているが、いまだに場当たりの汚染水処理が続けられている。汚染水漏れ事故の背景にあるのは、水循環全体を考えた水処理のプロの不在である。汚染水対策は東京電力の原子力廃炉対策チームから重電メーカーである東芝、日立の原子力グループに伝えられ、そこからゼネコン（総合建設業者）に汚染水対策の具体策が求められ、ゼネコン案やメーカー案が最終的には原子力規制委員会の承認を得て実施されてきた。その結果が「漏れ続出」である。筆者は会社勤務時代に原子力発電所の水処理に係ったことがあるので、その観点から原子炉の基本や、現場で何が起き、どんな作業が行われているのか、有効な対策はあるのかなどについて述べてみたい。

### 原子炉の基本は水だ

原子炉の基本は水の確保である。原子力発電は熱源として放射性物質の核分裂や崩壊熱を利用して蒸気を発生させ、発電タービンを回す。その蒸気は海水で冷却され、復水となって大型ポンプで再度原子炉に送られ

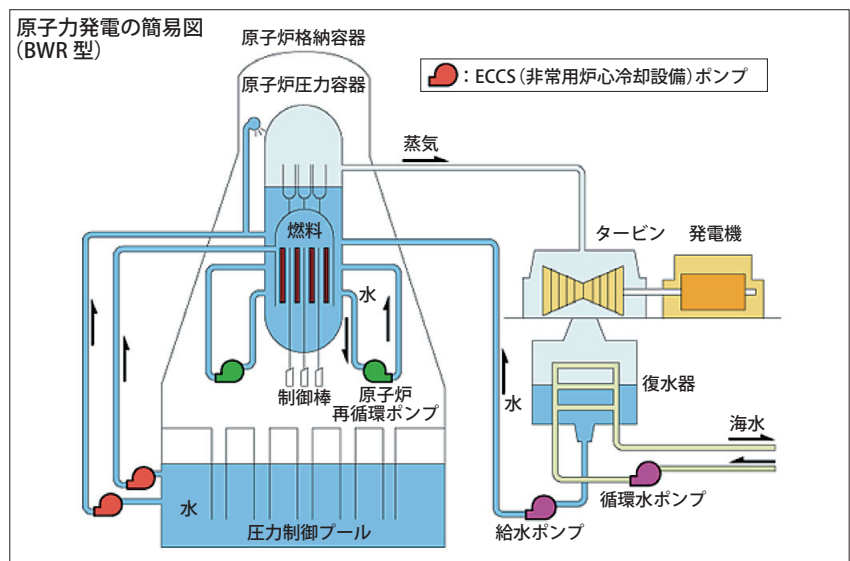
水循環を繰り返すシステムである。原子炉の暴走を防ぐには水で冷却するしかない。どんな場合でも冷却水を確保し、ポンプを回して冷やし続けることが原子炉工学の基本である。

今回の事故は外部電源がすべて喪失し、循環ポンプや安全弁、制御機器などが作動せず、システム全体の水循環が失われたのが主原因である。その結果、燃料棒が過熱して水素が発生、水素爆発が起こり大量の放射性物質が大気および水系に放出された。

水道施設の基本は、すべての電源

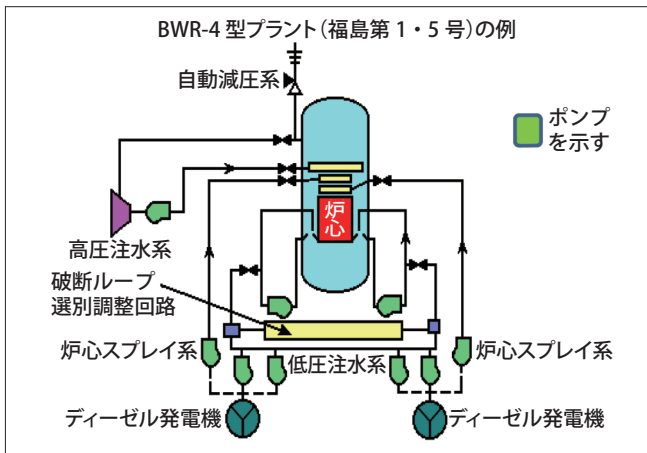
が喪失した場合でも必ず重力で給水できるように、高台に配水池を設置することである。福島第1原発の建設に携わった関係者の話では、当初、発電建屋の後方の高台に純水貯槽（約4000t容量）を設置する案があったが、GEや東電の技術者から「ポンプがあるから高台には不用」と断られたらしい。最近の新型大型炉（ESBWR、150万kW）では原子炉用の冷却水を建屋の天井部分に蓄え、電源喪失などの非常時には、重力で冷却水を炉内へ注入できるように設計され安全性が高められている。

水循環の主役はポンプ



(注) 原子力発電所の方法は国内で多い沸騰型（BWR）と海外で主流の加圧型（PWR）に分かれる。荏原製作所では図中にあるすべてのポンプを製造している。出所：荏原製作所 HP

格納容器スプレイ冷却系統概略図

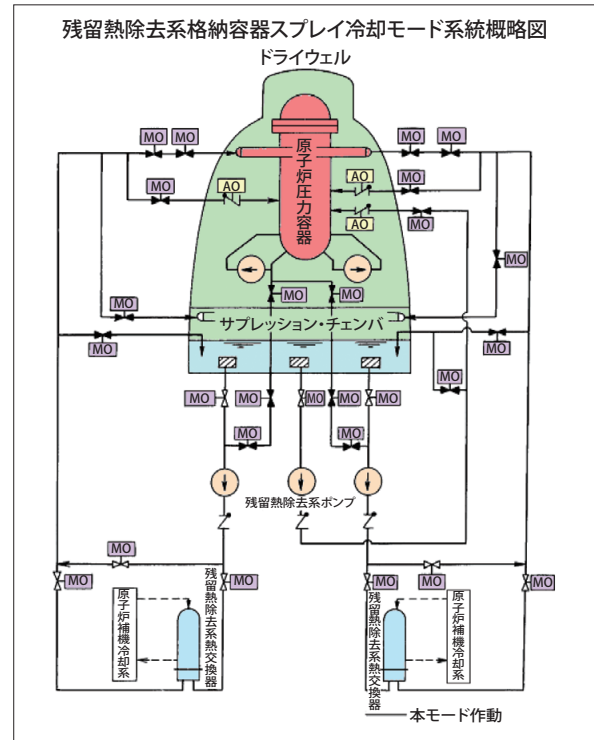


出所：資源エネルギー庁公益事業部原子力発電課（編）：原子力発電便覧 1999 年版、電力新報社（1999 年 10 月）、p.83

また海外の原子炉には、すべての外部電源が喪失しても、残っている加熱蒸気でECCS（非常用炉心冷却装置）に冷却水を送り込む蒸気作動弁が付いている例が多い。ところが、福島第1原発は、すべて電動弁と空気圧弁（コンプレッサーから圧力空気供給）が採用され、外部電源は絶対に喪失しないという幻想にとらわれた安全対策であった。

上を砂礫堆積層（含水帯）が覆っている。その層厚は不整合である。富岡層の層厚は200～400mで、間にレンズ状の砂層を挟んでいる。1号機の周辺は標高35mの台地を切り崩し、標高10mで整地された。当時の津波対策に必要なとされた敷地の高さは4mであり、その2倍以上の標高10mにしたが、この高さが最も整地コストが低減できるものだったとも伝えられている。

原子力プラント設備は米国GE社のターンキー契約（設計、調達、建設、試運転、性能保証まで責任を持つて行う契約）であったが、敷地造成工事は東電の施工範囲で、熊谷組、間組（現在は安藤・間）、前田建設、五洋建設などが従事している。地質は標高35mから27mまでが柔らかい土質で、標高27mから10mの間は常に地下水が湧出し地盤がぬかるみやすい含水層だったのでウェルポイント（地中に取水用パイプを打ち込み、真空ポンプや遠心ポンプで連続的に水をくみ出す）工法が多用された。また梅雨時には重機がぬかるた

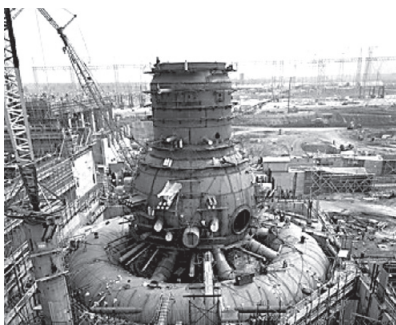


出所：原子力安全研究協会（編）：軽水炉発電所のあらし（改訂版）、原子力安全研究協会（1992 年 10 月）

め、鉄板を敷いて作業している。福島第1原発は地下水脈の上に建設され、今その地下水に悩まされている。現在、原子炉は岩盤の上に建設されるが、当時は広い敷地が確保され、かつ土木工事のやりやすい場所が選ばれたのであろう。工期は1966年6月1日より67年3月末までの突貫10カ月間であった。

## 地下水脈層に立地された福島第1原発

福島第1原発1号機は相双地域南部の河岸段丘地帯に位置し、緩い傾斜のある丘陵に建つ。地質として下層に砂岩、その上部は富岡層に属するシルト岩（遮水層）が主体で、その



福島第1原発と同型の原子炉格納容器の建設中の様子（米国）

## 放射能汚染水対策

タービン建屋へ滞留している滞留水（約7万4000t）の水質は、津波や注水による海水と真水が混合したもので、塩化物イオン濃度は海水と同様の1万4000ppm、セシウム137は $3 \times 10^6 \text{ Bq/cm}^3$ の放射性濃度であった。水処理の基本から見ると、最も処理が難しい水質である。その理由は、①過去に経験したことの無い高線量の放射性廃液②がれきが付

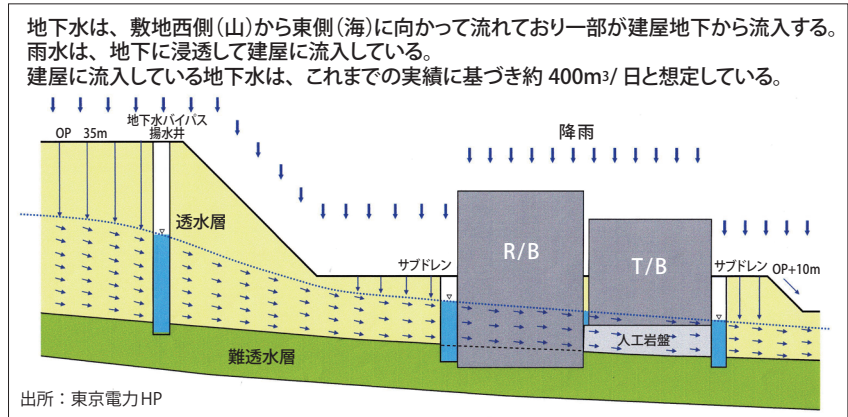


着した放射性物質の除去③がれきや油脂類の混入④海水並みの塩化物イオン濃度から特定のイオン種の除去⑤放射性汚泥の処理・処分一などからである。事故後の2011年6月から運転を始めた汚染水処理プロセスは、油水分離、セシウム吸着、凝集沈殿、淡水化処理（逆浸透膜使用）などで構成されている。

とにかく汚染水対策を急ぐため、過去に実績のある米国キュリオン社（スリーマイル島の除染処理担当）とフランスのアレバ社（核燃料処理の世界最大メーカー）の機器を採用し、前処理を東芝、後処理を日立が担当したが、多くの不具合や運転停止が発生。不思議なのはキュリオン社の採用である。東電の発表では、スリーマイル島原発事故（1979年）の除染で実績があるとしているが、キュリオン社は08年創業のベンチャー企業であり、得意な技術はイオン吸着剤ではなく、放射性廃棄物をガラス固化する技術である。

11年4月30日のフォーブス誌の報道によると、タイトルは「日本は

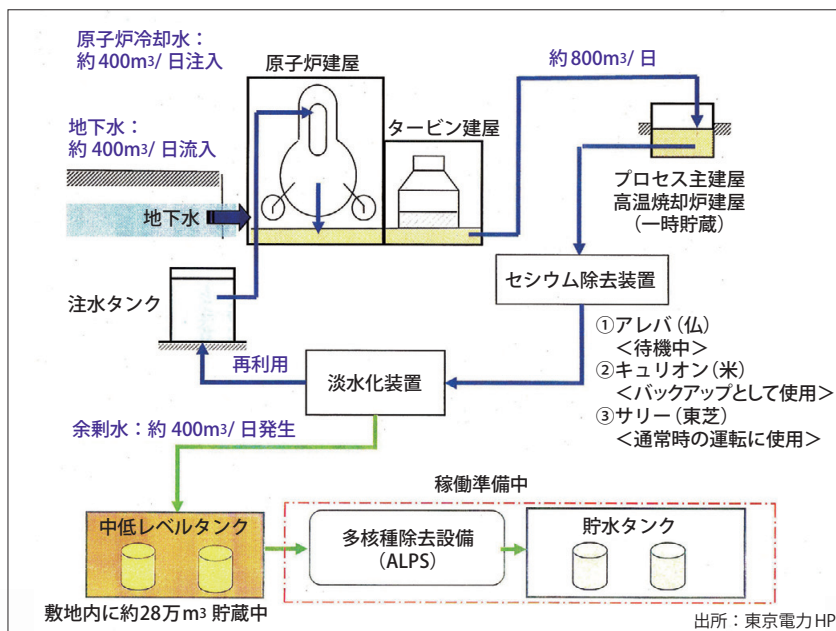
## 福島原発地下水の流れ



米国のハイテク・ベンチャー企業であるキュリオンに福島の除染を依頼した」とあり、同社のジョン・レイモントCEOは「米国で選ばれたのはわが社だけであり、わが社の技術が高く評価された」と述べている。しかしキュリオンの装置は運転開始後5時間でダウンし、その後は配管の詰まりや作動弁の付け間違いなどが発覚、連続運転後の除染能力も当初目標の20分の1であった。キュリオンおよびアレバ社の汚染水処理装置は現在、運転を停止（東電の表現は待機中）している。

その後の処理は米国のショークグループの提案を受け、東芝およびIHIが新たな汚染水処理装置「サリー」を設計し、納入後、除染作業が続けられている。また本年3月から多核種除去装置（ALPS）が試運転を始めている。今までの汚染水処理システムは放射性セシウムしか除去できなかったが、このALPSはストロンチウムを含む放射性物質62種類を除去でき、処理能力は1日あたり500tとされる。しかしどんな処理装置が採用されても高線量吸着済みカラム（円筒状の容器）の処理・処分方法が未定であり、敷地に積み上げられている。

## 汚染水処理システムの構成



## 汚染水処理対策

本年4月から汚染水を貯留している7つの地下貯水槽のうち3つで放射能汚染水漏れが確認された。漏えいが確認されたのは1号池（容量1万3000t）、2号池（1万4000t）、3号池（1万1000t）で、他の4池は検査中である。地上タンクの容量が限られる中、この地下貯水槽は頼みの綱であった。なぜなら4月現在、今後の汚染水を受け入れる待機空き容量約5.5万tの6割をこの地下貯水槽が担っていたからである。

・なぜ漏れたのか

現在、東電および施工関係者が調査中であるが、公開された資料を見る限り1万t以上の水を貯留する貯槽として基本的な設計ミスが感じられる。貯水槽は内側から1、2枚目はポリエチレンシート（厚さ1.5mm）、3枚目はベントナイトシート（厚さ6.4mm）であり、設計水頭を6mとすると各々のシートは薄すぎて貯留する水の重量や水位が上下する際に破壊される恐れがある。最低でも3～5倍の厚みが必要であろう。では漏れた責任はどこにあるのか。4月9日付毎日新聞の報道では、東電は「ため池などで実績のあった」前田建設工業にすべて依頼したと主張し、同社は「通常はやらない設計」と答えている。さらに4月11日、産経新聞の取材に対し同社は「当社は産廃処理では実績があるが、貯水目的で建設したのは今回初めて」とも述べている。

誰が強度計算した上で、誰が仕様書を作り、誰が承認したのか。このような疑問は他の仮設機器や処理プラントでも湧き起こるであろう。

・地上タンクも危ない

この漏えい事故を受け、東電は新

規に地上タンクを増設するとともに、既存の地上タンクへ漏れた地下水槽から汚染水移送を始めている。この地上タンクも大きな問題を抱えている。大型鋼鉄製丸型タンクと表現されているが、実は納期短縮のために溶接構造ではなく、円筒状の鉄板同士、防水パッキンをはさみボルトで締めている。汚染水貯留タンク900基のうち、パッキン構造のタンクは280基である。この構造だと2、3年でパッキンが紫外線や放射線で老朽化する可能性が指摘されているが、同じ構造のタンクを次々と増設している。

・地下水対策

東電の発表によると、地下水は山側から海側に向かって流れ、その一部が建屋地下に流入している。また雨水は地下に浸透し、これも建屋に流入している。地下水と雨水の合計約400tが毎日流入していると想定している。この地下水を減少させるため、①建屋貫通部の止水②地下水バイパス工事（上流側に井戸を掘り地下水をくみ上げる）③サブドレーン（建屋近傍に井戸を掘り地下水をくみ上げる）④陸側連続遮水壁の構築などが提案されている。



汚染水を貯留しておく福島第1原発の地上タンク=3月1日

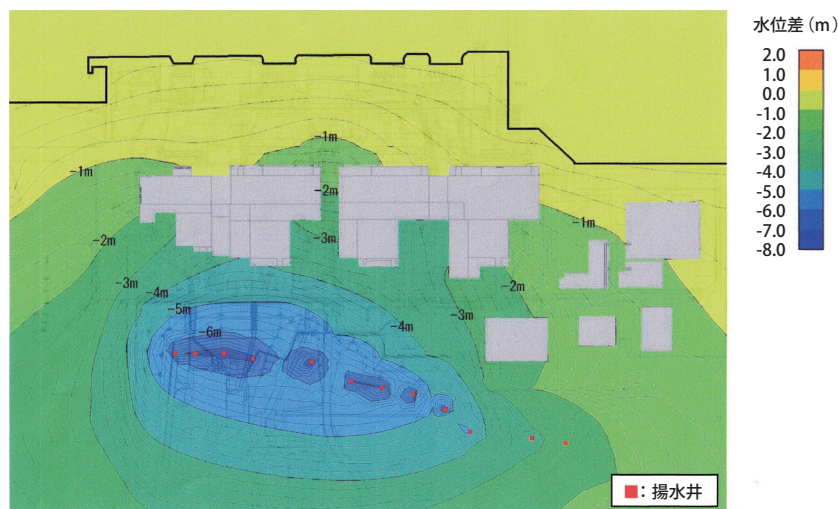
ではこの地下水脈の水源はなんであろうか。詳細については水循環の専門家（水理学、<sup>すいもんがく</sup>水文学、河川工学）の判断を必要としているが、筆者の予測では2つ挙げられる。①山側にある標高35mの山林を含む敷地の下部透水層に蓄積された保有水で、約5000万～1億tと推定される②年間降雨量（年平均1550ミリ）から補給される地下水量は約250万～500万t/年であろう。

東電は建屋に流入している地下水は約400m<sup>3</sup>/日（実測値に基づく想定）としているが、おそらく1000m<sup>3</sup>/日以上地下水が建屋廻りに流入し、海に流出しているものと思われる。また敷地造成後40年以上経過した地層には随所に水道が出来るのが常識であり、<sup>みずみち</sup>単純な地下水シミュレーションでは解析不可能である。

現在、建屋周辺で揚水井（12カ所）を設置しているが、地下水位の低下は揚水井近傍でのみで顕著であり、建屋への地下水流入は変化がない状態である。

先に述べたように、建屋地下には毎日約400tの地下水が流入し汚染水の保管は限界に近づきつつある。既に敷地内には約28万tの汚染水がタンク群に貯蔵されている。6月からの梅雨入りでさらなる地下水位上昇の恐れが出てきている。汚染水処理はまさに危険水域に達している。E

建屋周りの地下水位の低下量（現況と地下水バイパス稼働後の差分）



(注) 揚水井近傍で水位低下が顕著。揚水井の吸い上げ効果は、建屋の山側で高く、海側で低い出所：東京電力HP