

原発の汚染水を増やさない方法

東北大学 流体科学研究所 圓山重直

2013/03/11 作成

概要

最近問題となっている、汚染水の増加を防ぐ方法を述べる。以前から提言しているように、汚染水を除染せず直接炉心に循環させることによって、汚染水をこれ以上出さずにすむ。また、まだ手つかずにあるタービン建屋などの付帯設備の解体準備も始められる。

1. はじめに

本日で原発事故から丸 2 年になる。現在も福島第一原発収束の目処は立っていない。最近「循環注水冷却システム」から出てくる余剰汚染水の貯蔵が問題となってきた。報道によると毎日 400 トンの余剰水が出ておりこれを貯蔵する設備が早晩満杯になる。タンクを増設しても後数年しか持たず、40 年といわれる廃炉期間をまかないきれないことは明らかだ。汚染水の抜本対策が必要である。

新しい、除染システムも準備されているようであるが、トリチウムだけは取り除けないので、それを希釈して放出することを東電は計画している。しかし、事故直後に周辺国や住民の許可を得ずに低濃度汚染水を海に放出したことで、これら関係者の了解を取ることは難しいと考えられる。たとえ、他の原発でトリチウムを希釈して環境に放出した実績があっても、福島原発のトリチウムを環境に放出することは住民等の理解が得られない。

要は、汚染水をこれ以上増やさないことである。これは、そんなに難しいことではない。

著者らは、原発事故発生当初から原子炉の冷却について提言を行ってきた [文献[1]の HTC Rep. 4.1, 2011/4/1、以下(HTC Rep. 4.1, 2011/4/1)と記す]。それらの提言の中で、汚染水を除染循環させずに直接原子炉建屋内で循環させることを提案した(HTC Rep.21.1, 2011/08/18)。関係各位は、もう一度この提案を検討してほしい。また、エネルギー、水、放射能の保存法則の関係から、原子炉をどのように収束させるか(HTC Rep.10.1, 2011/04/16)も示した。

本レポートでは、(HTC Rep.21.1, 2011/08/18)を基本として、現状に即した具体的な原子炉冷却方法を提案するとともに、次善の策として汚染水の増大を減少させる方法についても言及する。

2. これまでの経緯と現状

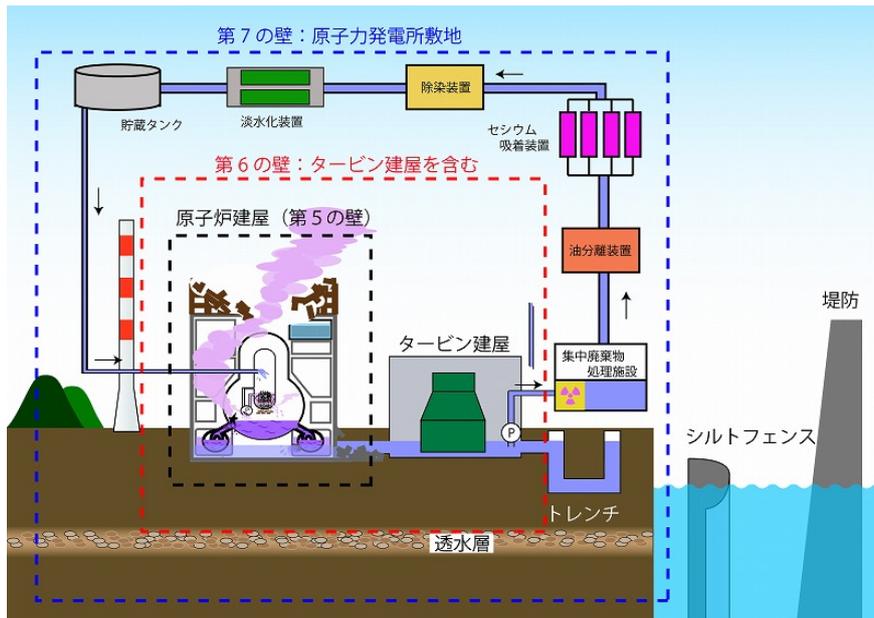
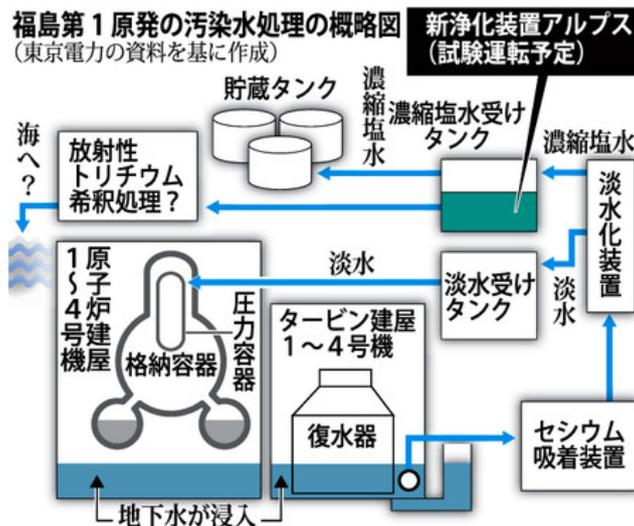


図1 2011年8月18日現在の原子炉の現状(HTC Rep.21.1, 2011/08/18)

東電では、図1に示す「循環注水冷却システム」を構築し、原子炉の冷却を行ってきた。このシステムは、4kmに及ぶ仮設配管を原発敷地内に張り巡らし、タービン建屋から取水した放射能汚染水を除染し、さらに塩分を取り除いて真水にして、一番汚染されている炉心に注入するものである。除染で放射能がなくなるわけではなく、炉心の放射能を原子炉外に運び出しているだけである。これは、肥だめにある汚水を、飲料水にしてまた肥だめに戻すことと同じである（文献[2]の232頁）。肥だめの汚物は肥料になるが、放射能で高度に汚染されたフィルターや高濃度汚染水はどうにもならない。



<福島第1原発> 東電 処理後汚染水を 日新聞 3月5日(火)21時50分配信
海に放出計画

図2 現在の汚染水処理システム（毎日新聞より抜粋）

図2に示すように、現在（2013年3月）でも基本的に同じ構成の「循環注水冷却システム」を使って

いる[3]。もう 4km に及ぶ長大な仮設配管は使っていないことを期待する。ここでは、新しい放射能浄化システムをつける予定であるが、トリチウムは水と化学組成が同じなため取り除くことができない。東電はこれを希釈して基準値以下の放射線放出量にして海洋に投棄することを計画しているようだが、地域の漁民や周辺国が容認するとは考えられない。なぜならば、政府・東電は以前にも低レベル放射能汚染水を海に投棄して国際的な信用を失ったからである。すでに、国民にも信用されていない。つまり、トリチウム以外の放射能を除去しても行き場のない汚染水はたまり続けることになる。

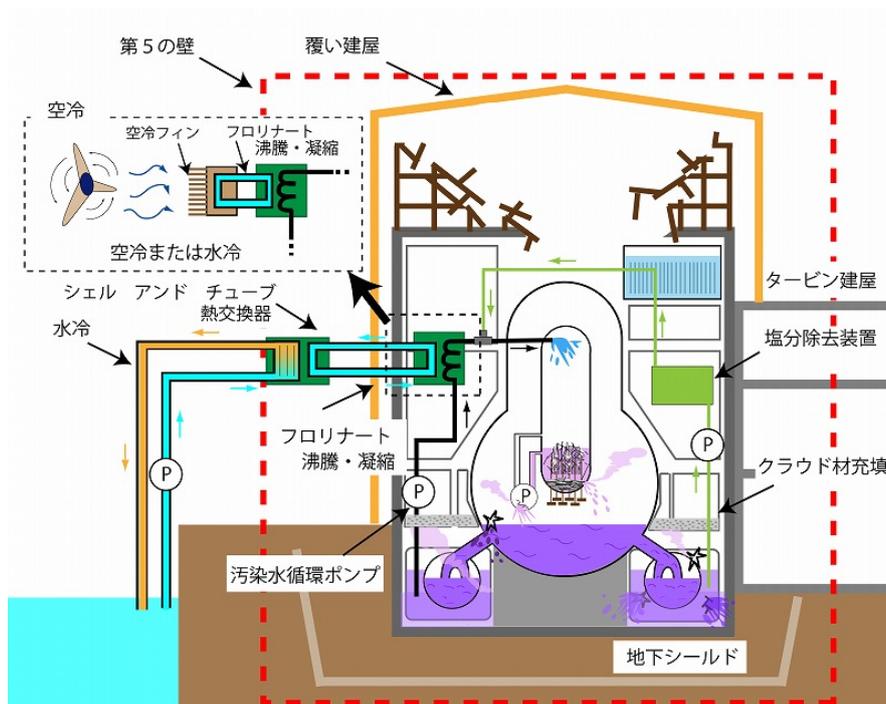


図 3 原子炉長期安定隔離に向けた提案(HTC Rep.21.1, 2011/08/18)

図 3 は(HTC Rep.21.1, 2011/08/18)で提案した方法である。つまり、原子炉内の放射能を第 5 の壁に封じ込める。中心となる設備はサプレッションチャンバー (SC) のトラス室に漏れ出た炉心の水を熱交換器で冷却し、循環させるシステムである。炉心の循環水は、炉心の循環水はフロリナート等の冷媒を介して、外部の海水または空気熱交換器で冷却される。補助的なシステムとして、炉心内の塩分を除去する小型のシステムを運転し、徐々に原子炉内の塩分を除去して恒久的な炉心冷却システムとして構築する。塩分除去システムで取り出された放射能は、それを分離して炉心に戻してやることが望ましい。

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 1 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、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。

表1 2013年3月9日現在の原子炉の状況（東電発表原子炉パラメータより）

	1号機	2号機	3号機
炉心注水量 (kg/s)	1.25	1.53	1.53
RPV 平均温度(°C)	18.1	31.4	27.2
PCV 平均温度(°C)	18.4	31.4	27.4
原子炉建屋水位 (O.P.m) *	4.19	3.47	3.00
タービン建屋水位 (O.P.m) *	2.73	3.19	2.79

*O.P. は平均海面水位。福島第一原発は海岸エリアで O.P. +4m, 原子炉建屋、タービン建屋で O.P. +10m

表2 2011年4月1日と2013年3月9日現在の発熱量比較（文献[4]、[5]、[6]の推定式より計算）

	1号機	2号機	3号機
2011年4月1日 炉心発熱量 (MW)	2.57	4.48	4.45
2011年4月1日 換算蒸発量 (kg/s)	1.17	1.99	1.97
2013年3月9日 炉心発熱量 (MW)	0.27	0.53	0.52
2013年3月9日 換算蒸発量 (kg/s)	0.13	0.24	0.23

表1は、原子炉の現状を示したものである。各号機とも温度は低く保たれており、安定している。また、原子炉建屋、タービン建屋の水位は地面より5m以上低く、そのため原子炉建屋を建設したときに敷設した砂利層等が透水層となり周囲の水を集めて流入するシステムとなっている。東電は、汚染水の拡散を防止するために「紋切り型で」水位を一定に保っているようである。流入水は日量400トンといわれているので、現在の注水量である日量372トンよりも多い。つまり、現行のシステムは「汚染していない」周囲の淡水を集めて、それをタービン建屋の汚染水と混ぜて放射能と塩分を加え、新たな汚染水として浄化し循環するシステムとなっている。

表2は、事故直後の2011年4月1日の炉心発熱量と2013年3月9日現在の発熱量を比較したものである。崩壊熱の推定式は事故当初には妥当な精度を有している[4]、[5]、[6]と考えられるが、事故後2年が経過した現在では正確な値どうかは不明である。現在の崩壊熱は目安と考えていただきたい。両者を比較すると、発熱量は事故直後と比べて約1/10に低下している。また、現在の注水量は蒸発量に比べて10倍程度大きいことから、(HTC Rep.21.1, 2011/08/18)で提案したように、蒸発量より遙かに多い水を循環させていわゆる「冷温停止状態」に保つことを行っているとも考えられる。また、一部発生した蒸気は膨大な面積を有する格納容器表面で熱交換され、水となって凝縮する。

1号機の破壊状態を推定したように (HTC Rep.25.1, 2012/12/26)、現在のPCVの破損面積は10cm²以下と推定された。その破損箇所は、拡張部ベローズの溶接部分と推定している。2号機の破壊状況もそれほど大きな差はないと考えられる。3号機の破損はこれらより大きいと考えられる。さらに、2011年3月21日～22日に原子炉が高温になり、拡張ベローズの破損に加えて3号機RPV上部の蓋のパッキン部分での隙間も想定される[5]。しかし、現在の1-3号機の放射性蒸気放出量はきわめて少ないと考えられる。

原発事故当初は津波の海水が地下に帯留し、炉心冷却に海水を用いた。しかし、「循環注水冷却システム」で塩分を取り除き周囲の真水の地下水が流入している現在の方法を2年間続けているので、現在の原子炉建屋地下の汚染水の塩分はかなり下がっていると推定される。関係各位はすでに汚染水の塩分を

計測していると考えられる。

以前の提案(HTC Rep.21.1, 2011/08/18)は、発熱量の大きい時期だったので、外部に熱交換器を設けたが、現在はそれもいない。汚染水の塩分も下がっているので脱塩もほとんど必要ないと考えられる。

3. まず出来ること

まずは、汚染水の流入を最小限にすることが重要である。表1を分析すると、1号機は原子炉建屋水位がタービン建屋よりかなり高くなっている。1号機の注水量は2, 3号機に比べると少ないので、1号機原子炉建屋とタービン建屋の漏れは他号機より小さいと考えられる。いずれにしても、周囲からの流入水はタービン建屋への流入が主であると考えられる。原子炉建屋は岩盤もしくはそれに類する強固な地盤の上に立てられるが、タービン建屋は強固な地盤にパイルを打ちその上に建設されたと考えられる。従って、原子炉建屋に比べて漏れが発生しやすくかつ、最下層の床と土壌の間に砂利層があるので水が透過しやすい。

本来ならば、原子炉建屋のみに汚染水を循環すべきであるが、「とりあえずの策」として以下を提案する。まず、原子炉建屋およびタービン建屋周辺に建物からおおよそ10m程度離して深さ10m程度の穴を複数開ける。そこに水位計を設置して、建物周辺の地下水位を正確に計測する。もちろん、地上から穴へ水が流入しないようにする。トレンチは、タービン建屋とつながっているので、基準水位としないことに注意する。

次に、各建物の地下平均水位に比べて「ほんの少し」だけ水位が低くなるように、タービン建屋の水位を調整する。静水圧の原理と、ダルシー則（流量と差圧が比例する）の関係より、水位差と流入水量は比例する。ほんの少しだけタービン建屋の水位が地下水位と比べて低ければ周囲への汚染水漏洩はない。水などに含まれる物質の純粋な物質拡散速度は対流による移流成分と比べると格段に小さい。

この処置によって、地下水の流入を最小限に食い止めることが出来る。もちろん、雨水などの地表水がタービン建屋に流入することは厳重に防止する必要がある。これから4ヶ月後には梅雨が始まりその後で台風が来るので、地下水位は変動すると考えられる。循環水量と水位の変化は今のうちに正確なデータをとっておく必要がある。

4. 廃炉に向けた真の循環冷却システムの構築

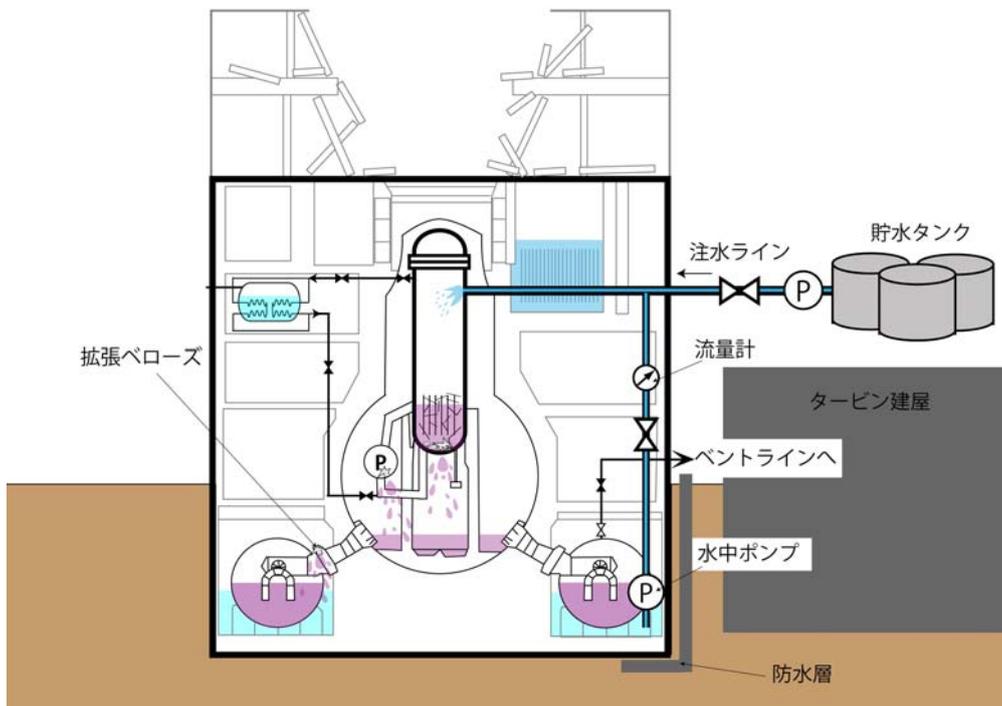


図4 本報で提案するコンパクト循環システム

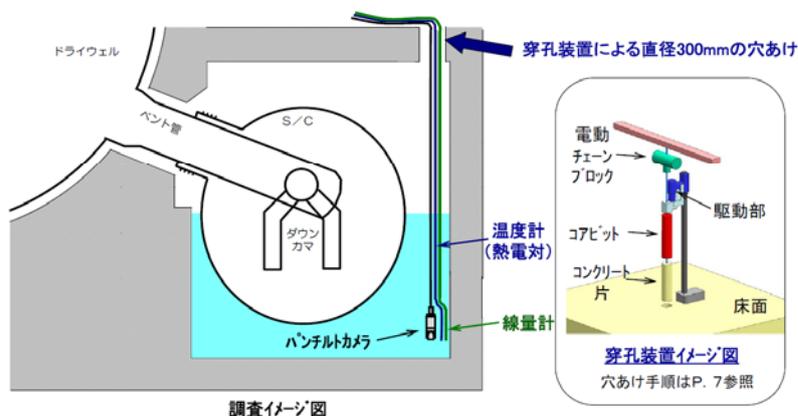
図4に、本報で提案する循環システムを示す。本提案は、トーラス室に深井戸水中モーターポンプを入れて循環冷却する簡単な装置である。ただし、循環する汚染水は放射能が高いため、配管は遮蔽するか人間が近づかないようにする必要がある。また、ポンプは寿命がきたら交換できるようにバックアップが必要であろう。以下に具体的な手順を示す。

- (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。

3. 調査方法(温度・線量・カメラ)

3

穿孔装置により、原子炉建屋1階床面に直径300mmの穴をあけ、温度計、線量計、カメラを挿入し調査。



東京電力

図5 トーラス室への穿孔実施例 (文献[7]より引用)

- (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ため、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ため、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、原子炉はもう圧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。

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] 圓山翠陵、小説 FUKUSHIMA、養賢堂、2012年9月
- [3] 福島第一原子力発電所における高濃度の放射性物質を含むたまり水の貯蔵及び処理の状況について(第89報) 平成25年3月6日、東京電力株式会社
- [4] 円山重直, “福島第一原子力発電所1号機事故の熱流動現象の推定—非常用復水器が作動していた場合—”, 保全学, Vol.11, No.3, (2012-10), pp. 93-99.
- [5] 円山重直, “福島第一原子力発電所3号機事故の熱流動現象の推定—高圧注水系(HPCI)が途中で止まった場合—”, 保全学, Vol.11, No.3, (2012-10), pp. 100-109.
- [6] 円山重直, 福島第一原子力発電所2号機事故の熱流動現象推定(熱力学モデルによる事故シナリオの検証)、日本機械学会論文集 B編、(2012-12)
- [7] 福島第一原子力発電所1・2号機トラス室調査について、平成25年1月25日、東京電力株式会社