

4ヶ月で原発を収束させる工程表

東北大学 流体科学研究所 圓山重直

2011/05/14 作成

2011/05/22 改訂

2011/06/08 改訂

概要

各炉で何は起きているか、また、破損状況はどうか、大まかな推定ができるようになった。しかし、汚染水は依然として増え続けており、これから予想される地震や津波に対しての脆弱要因となっている。放射能放出を工程表より早く収束することは可能である。これまで防戦一方だったが、早期終結に向けて原発に対して反撃する時が来た。

上記のように Rep.15.2 で述べたが、実際は遅遅として進んでいない。4ヶ月もあれば原発を収束させるのに十分である。以下にその手法を述べる。

現状

報道では、1号機の放射性蒸気が4Sv/hであるとの報告があった。Rep. 17.2で述べているように、1号機はDW下部に穴が開いていて、そこから約100°Cの蒸気が放出されている。当然の結果である。報道では、60°CのSC内の水からの湯気という表現があったが、報道関係者の間違いであることを祈る。この誤認は、これからの収束に向けて大きな遅れを起こす可能性がある。また、2号機プールを冷却したが、蒸気は依然として収まっていないという報道があった。これも当然で、1号機より大量の放射性蒸気がSC付近から放出されている。ただし、2号機の蒸気は一度SC内の水を通過している可能性がある（Rep. 14.1）、放射蒸気の放射線量は若干少ないかもしれない。プールの冷却は重要であるが、プールの放熱量が小さく（Rep. 1.5）放射能の放出には基本的な影響は少ない。放出蒸気に関しては3号機も同様である（湯気ではない）。この蒸気放出が止まるまでは覆い建屋は設置できない。

12日8時半頃にセシウムの計測があったという報道があった。Rep. 17.2で示したように、1号機のDWは12時4時頃に破損していたと想像され、当然の結果である。ただし、Rep. 17.2による推定では、8時半時点では燃料棒の露出は一部なので、そのような状態でセシウムが放出されるかどうかは分からない。

(1) 1-3号機は全て、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。ただし、事故から約80日を経過しているので、ヨウ素に関する放射線は千分の一に減少している。しかし、セシウムやストロンチウムの放射能などが減衰したわけではなく、汚染水は依然として危険である。

(2) 1-3号機全てが、圧力容器、格納容器ともに破損している。2号機はSCが破損している。しかし、これらの容器は、とんでもなくメチャクチャに壊れているわけではない。破損時期と破損程度は

Rep.15.2 および本レポートで述べる。

(3) 図1に示すように、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ため、汚染水が増え続けている。

東京電力から原子炉パラメータや事故直後のデータが5月16日に発表され、事故分析が5月23日に発表された。解析をみると、破損状況は単に境界条件として与えられ、それがなぜ壊れたのか、どうしてその大きさなのかが記されていない。当方のレポート(Rep.15.2、Rep.14.2)を参考にした嫌いもあるが、どうして壊れたのか、その時の放射線等の裏付けやその後の炉の挙動と矛盾しないかなどの検討が記載されていなかった。それらの検討は関係各位が当然行っていると思うが。そのために、当方の推定(Rep.17.2)と若干の相違が出ている。

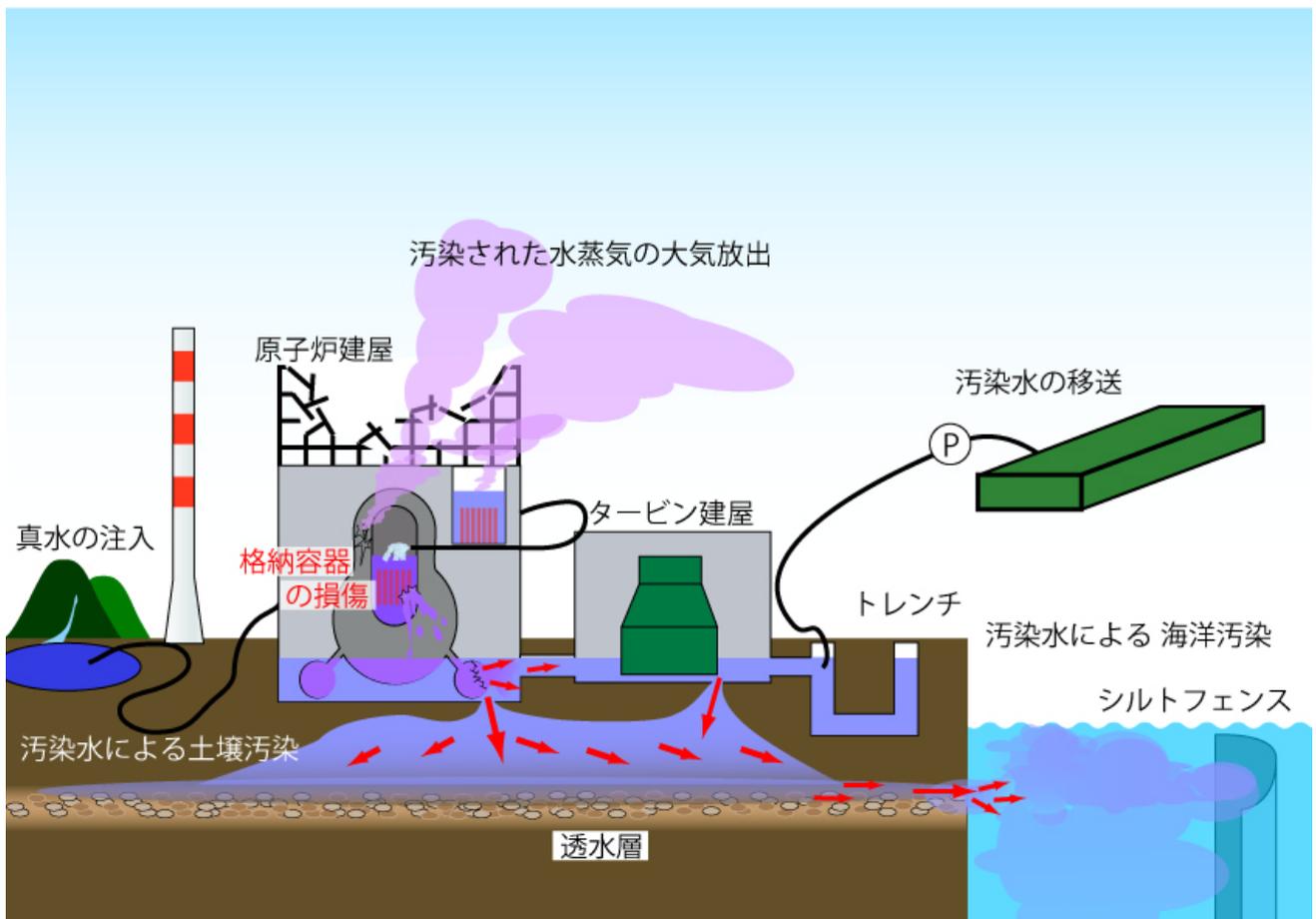


図1 放射能放出の現状(5月22日現在)

1-3号機の現状

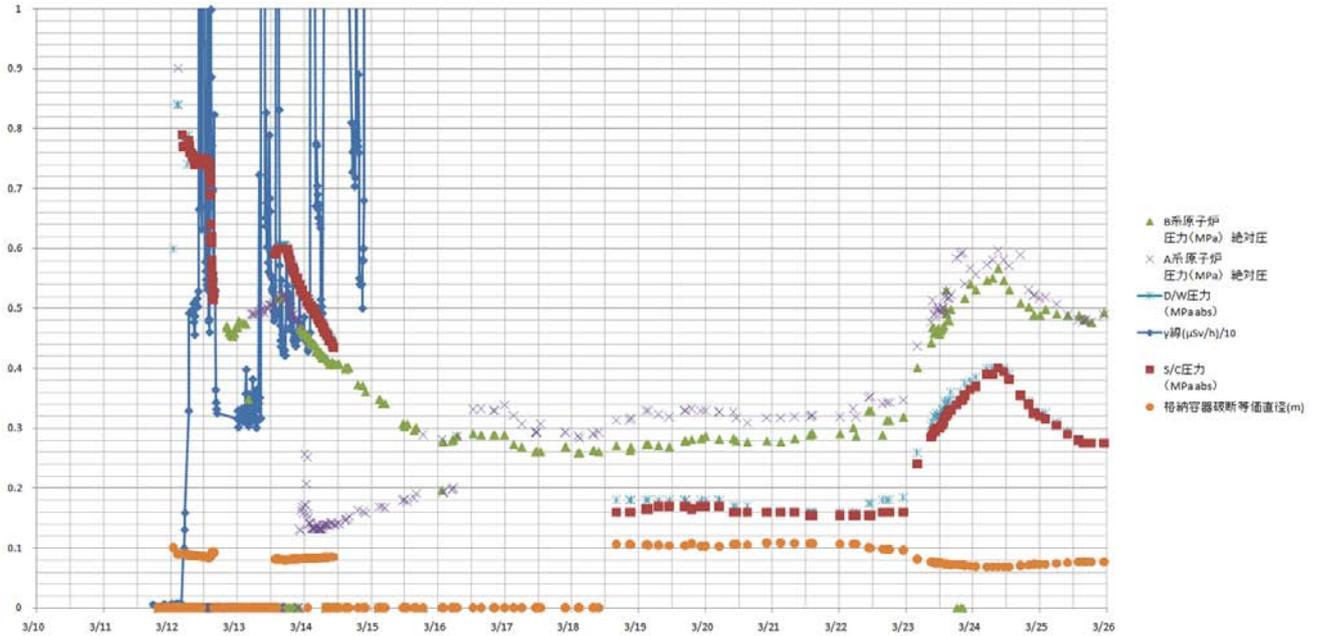


図2 1号機DWの圧力と破損面積の推定および放射線量（正門）

図2は、格納容器（DWおよびSC）の圧力から推定した破損開口面積と周囲放射線の比較である。12日4時にDWの圧力が若干下がり、その前後で急激に放射線量が増大している。それ以後の破壊面積は爆発の前後を含めて大きく変わっていない。

1号機の爆発はベント操作の可能性もあるが、12日4時時点ですでに穴が開いており、ジルカロイ-水蒸気反応で生成した水素は常に漏れ出し、原子炉建屋上部に溜まっていた可能性が大きい。たぶん、今回観測された蒸気流路と同じ経路だ。Rep.17.2を考えると、注水を早めてもベントを早めに行っても水素爆発は回避できなかつたと推定される。

格納容器（DW）には10cm程度の穴が開いている。当初はDW上部の破損が疑われたが、水が漏れているのでSCとの接続部が破損している可能性もある。破損領域の推定値にばらつきがあるのは、その時点で流れの状態や条件が変わっているからである。当然のことであるが、この直径は面積を表し、実際の破損域は円形ではない。また、この標記が使えるのは、隙間のレイノルズ数が十分大きく圧力係数で破損部の圧損が評価できることを意味している。破壊部が小さな隙間の集合の場合は、ダルシー則となり、この評価ができない。

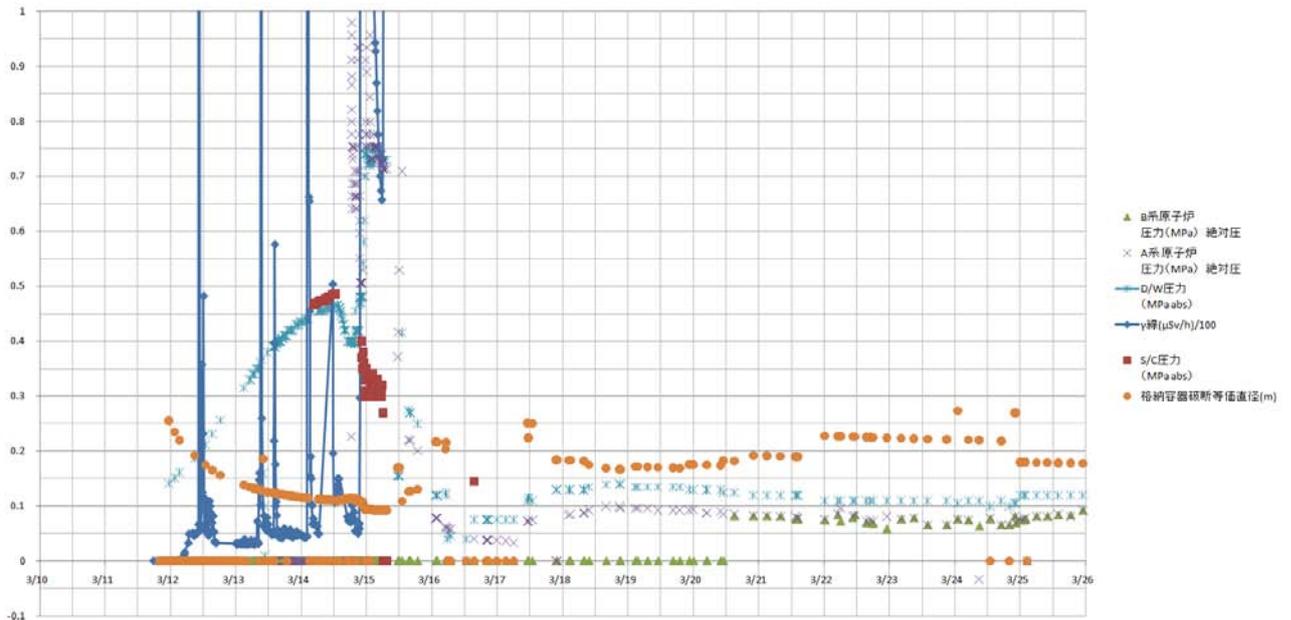


図3 2号機DWの圧力と破損面積の推定および放射線量（正門）

圧力計の計測値が正しければ、現在2号機は大気に対して負圧であり、サイフォン効果でサプレッションチャンバー（SC）を介して蒸気を放出している。そのため、飽和温度が100℃以下になっている。

現在はサイフォン効果のため、破損領域の推定はできない。しかし、3月27日以前はDW下部を満たす水がないため、DWとSCは蒸気で繋がっていた。その時のデータは一定であることから、SCの破断面積は直径10-20cm程度と推定される。トラスとDWとの接続部破断が予想される。DWは健全であり漏れはほとんどない。

現在は、SCの破断部からSC格納室を通して外部に水蒸気が漏れている。SCの水温も他と比べて高い。その部屋の水温は1、3号機と比べて高温・多湿（かつ高汚染水蒸気が充満している）であり、今後作業員が建屋内に入る傷害となることが予想される。

図5と6は2号機のSC破壊によって、放射能が放出されたと仮定したときのSPEEDIによるシミュレーション結果と航空機による実測値を示したものである。これらは非常に良く一致していることから、汚染の大部分は2号機のSCから放出された放射能であることが推定される。SC破壊時刻は15日6時頃である。この放射能はSCの水を通らず直接大気に放出されたので非常に大きな放射線強度となっていた。18日発生した白煙もこの水蒸気の可能性が高い。

2号機サプレッションチェンバー破壊による影響確認のため 15日9時放出開始、24時間積算



3月16日 6:51 現在 福島第1-2号

図4 SPEEDIによる放射線推計 (2号機SC破壊による放射線放出を仮定)

Airplane Monitoring of Radiation Dose by MEXT(Japan) and DOE(USA)

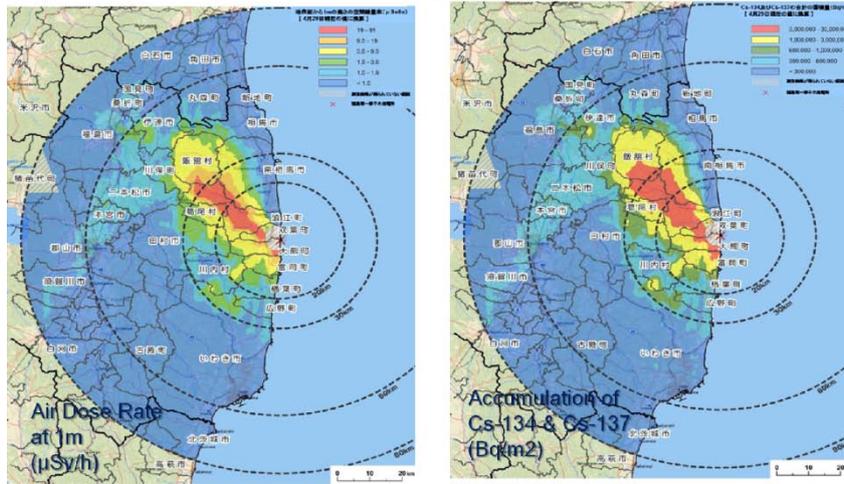


図5 航空機による放射線計測結果

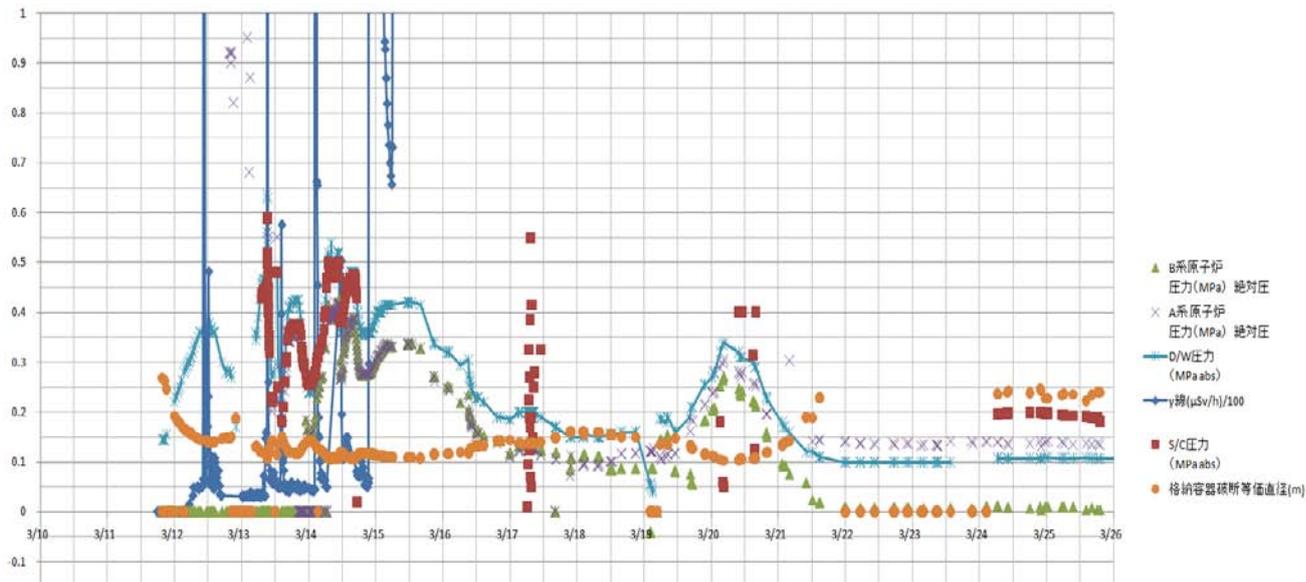


図6 3号機DWの圧力と破損面積の推定および放射線量（正門）

図6は、3号機のDWの圧力から推定した破損開口部と放射線量を示す。压力容器の減圧と放射線量、並びに推定開口部が一定となる12日12時頃に何らかの破損があったことが推定される。そのサイズはおおよそ10cm程度である。その後3月20日前後に炉心が空だきとなりDWも高温となったためパッキン等が破損し、開口部面積がおおよそ4倍となった。

3号機の水素爆発前のベント作業により、水素が4号機原子炉建屋に流入し水素爆発を起こしたことが疑われる。この可能性も否定できないが、3号機爆発後も格納容器から水素が定常的に漏れ出ており、しれが3号機と4号機の接続部を介して4号機の建物内部に侵入し何らかの原因で爆発したことが推定される。そう考えると、3号機の爆発と4号機の爆発の時間差が説明できる。Rep.17.1で示したように4号機プールの燃料棒は若干の損傷は予想されるが健全性を保っており、ここから水素は発生しなかった。

以上が現状分析である。本解析は、「事故調査委員会の報告書」のように何があったかを検証し、誰が悪いかを糾弾するものではなく、これから行う原発収束の日程を一日も早く実現するためのものである。関係各位は事故解析コードMAAPを用いて、Rep.17.2と本レポートの境界条件で計算することをおすすめする。本解析は定常解析なので、動的解析の場合は若干の破損部面積の修正が必要となるかもしれない。

一日も早い収束に向けた新工程表

現在1号機は1.3MW、2、3号機は2.3MWの熱とそれに相当する蒸気を放出している。余剰水による汚染水の排出も止まらない。しかし、2号機の発熱量は、5千軒の家庭の消費電力やナイターをしている東京ドームの消費電力相当しかない。この原発を一日でも早く収束させることは簡単なはずである。それぞれの面子や組織維持のために原発の収束を遅らせることは許されない。やり方さえ適当であれば、原発は4ヶ月もしたらおとなしくなる。新幹線復旧のように、原発収束を迅速に行えば国民や国際社会

から評価され、それで得た経験と技術は我が国の強みとして将来の発展に繋げることができるかもしれない。

何度も述べているが、我々の「当面の」目的をもう一度整理する。

(目的1) 原子炉が水素爆発や水蒸気爆発を起こして、大規模な放射能汚染を起こさないようにする。

(目的2) 大気中・地中・海洋へ漏れ出る放射能を封じ込める。

(目的3) 今後起こるかもしれない津波や大規模余震で上記(1)、(2)が起きないようにする。

(目的1)については、大規模蒸気爆発は、各原子炉の放熱量が小さくなっている所以その危険性は回避できていると考えられる。また、これまで述べてきたように炉心瓦礫の制御と原子炉の反応もある程度予測できる見込みがたった。破損箇所も大体検討はついている。しかし、外部から導入する冷却水を増大させると、汚染水がますます増えて対処できなくなる。

炉心を100℃以下にする冷温停止は(目的2)のための手段であって、冷温停止そのものが目的ではないことを再確認する。環境に汚染水と蒸気を出さないことが冷温停止を目指す本来の目標である。また、100℃以下の目標は、健全な原子炉に適用できるのであって、破壊した燃料棒から汚染物質をどんどん出している本ケースには当てはまらない。しかし、炉内が100℃以上でも放射能を一切出さなければ目的は達成できるし、住民や世界も原発は収束したと見なす。

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所以、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。

Ver2では(目的2)について、3段階の収束法を提案した。そVer3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。

先ず、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。

何度も述べているが、汚染水の移送やトレンチの水くみ出しは不毛である。この工事で、どれだけの作業員の被曝を増やしたのだろうか。現場は無駄を承知で行っている。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。

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。ただし、現在の原子炉パラメータのデータから、**注入水の除染をもしなくても 10Sv/h オーダーの汚染水**が原子炉建屋からタービン建屋地下に流入している。

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。ヨウ素の放射線量は事故当初の千分の一に減少している。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。

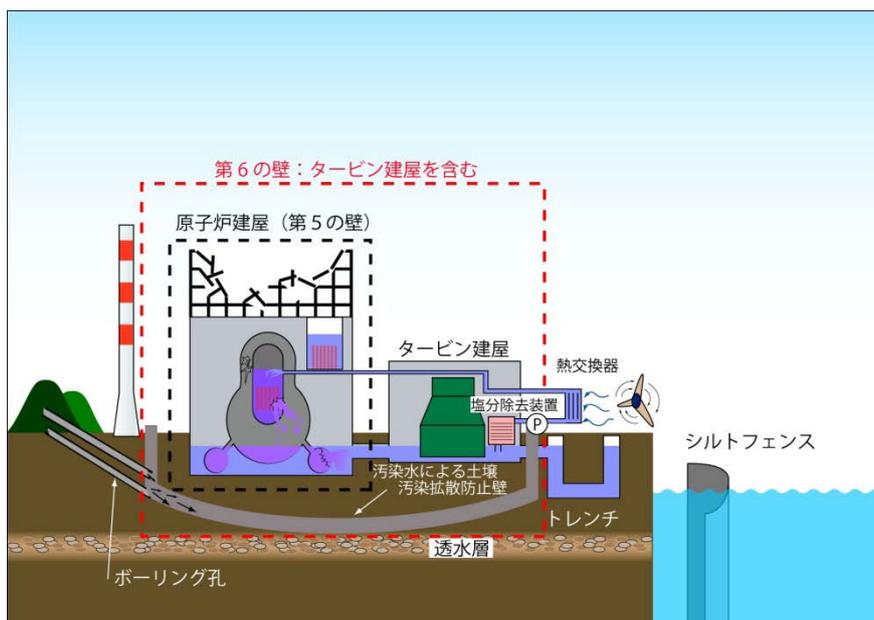


図 10 原発収束のためのステップ 2 (Rep.15.2)

次は、**第 6 の壁に放射能を閉じ込める**方策である。当面はタービン建屋の塩水を炉心に再注入する。放射能物質も除染せずそのまま炉心に戻してやる。

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。

Ver3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。

Rep.15.2の第3のステップは時間をかけて実施すればよい。