

水棺の失敗（格納容器破損）は何故起きた？

水棺案の危険性については4月23日のNo. 30 メモで「「水棺」方式の中止を！」と訴え、4月28日の産経新聞でも取り上げて頂きました。実効性がないのに、危険な行為をすべきではない、というのが私の主張でした。本メモの最後に、水棺案の解説を付けておきます。関心のある方々に5月4日にお送りしたものです。

昨日のメモ（No. 37）で報告したように、水棺が失敗したということは、格納容器が破損したということで、放射能流出を防ぐ最後の砦が破壊された、という重大な事件です。今後、原子炉に循環型の冷却装置を取り付けるということですが、原子炉に穴が開いているのですから、「循環型」にできないのは明らかです。収束が更に遠くなったという意味でも、重大な事件です。

失敗学に基づいて「水棺の失敗（格納容器破損）は何故起きた？」を検証してみましょう。注水すれば、格納容器に溜まることは自明です。「そんな自明なことが何故分からなかったか？」はここでは問いません。水の重さ、窒素封入、余震、海水による腐食、などが技術的原因、つまり直接原因です（下記解説の最後 P4 を参照）。

失敗学、海外では根幹原因分析学と呼ばれている手法では、背景となる根幹原因を幾つか定めています。ここでは、下記文献に拠ります。

（米国エネルギー省指令 5000. 3A, 「Root Cause Analysis Guidance Document」）

1) 教育訓練不足という失敗

水棺は元々米国で一つのアイデアとして20年前に考えられたもので、設計や十分な解析はありません。過去に一度も実証されたことはありません（下記文献参照）。

2) 水棺設計の失敗

従って、今回、実施するのであれば、NRC や原研などの機関に依頼して、格納容器が耐えられるかを評価分析し、手法を設計してから実施すべきでした。

3) 組織運営の失敗

米国発のアイデアですから、4000人のスタッフのいる米国 NRC（原子力規制委員会）に委託すれば良かったと思います。勿論、それでも、海水による腐食で、いつかは格納容器が破損したかもしれませんが、時間は遅らせることができたでしょう。

以上のことから、今回の失敗は、下記のようにすれば、一定期間は防げたと考えます。

- 1) 最初から NRC に委託し、格納容器が耐えられるかを評価分析する。
- 2) 実施方法の立案を NRC に任せ、東電がそれに従い実施する。
- 3) 注水と同時に、圧力抑制室からベント弁を通して排水し、放射能で汚染された水をタンクなどで受ける。

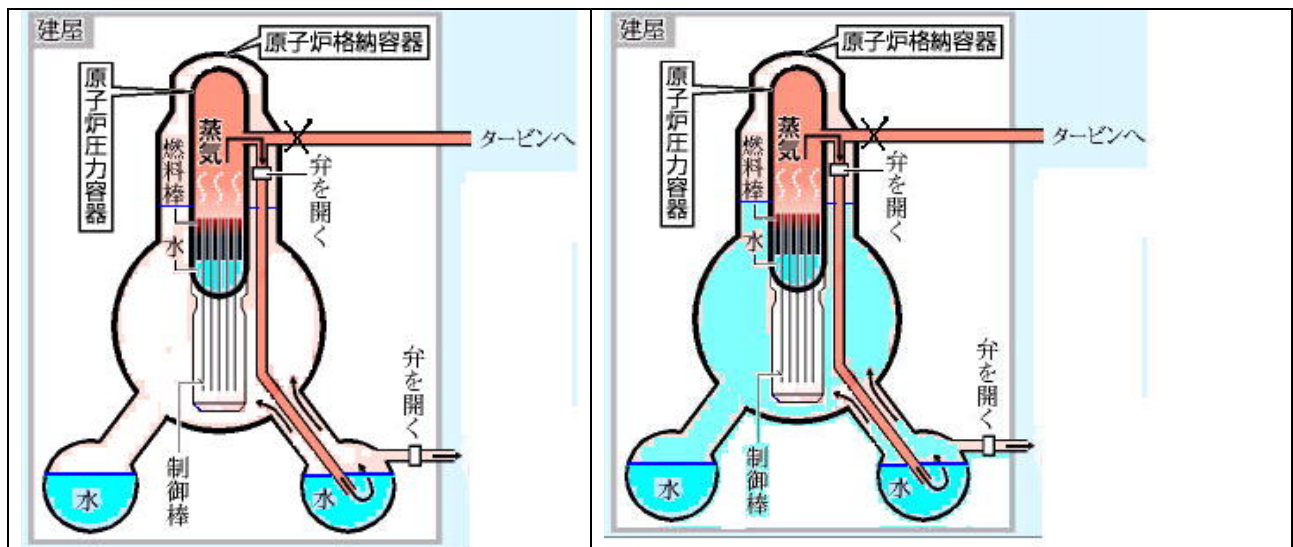
2011/5/13

「水棺」方式の解説

水棺案とは何か？という質問があったので、少し詳しく解説することにします。また、米国で研究された案とのことだったので、原典を調べました。

1990年頃に、米国で過酷事故（今回の福島原発事故のように、安全系が全て作動しない事故）が起きることを想定すれば、どういう設計改良や対策がありえるか、という研究がなされました。その中で「原子炉の冷却ができない場合は、格納容器に注水して、圧力容器を外部から冷却する案が検討されました（Drywell Flooding案）。この案は、1979年のスリーマイル島事故のように、炉心が溶融（メルトダウン）して、大きな塊となって、圧力容器を突き破る破局的な事故を防ぐ案として考えられたものです。従って、炉心内は1500度になっており、もし格納容器内が130度の水で満たされている場合には、冷却が可能、という試算が示されています。

（「Identification and Initial Assessment of BWR In-Vessel Accident Management Strategies」、
「Identification and Assessment of BWR In-vessel Severe Accident Mitigation Strategies」 米国オークリッジ国立研究所）



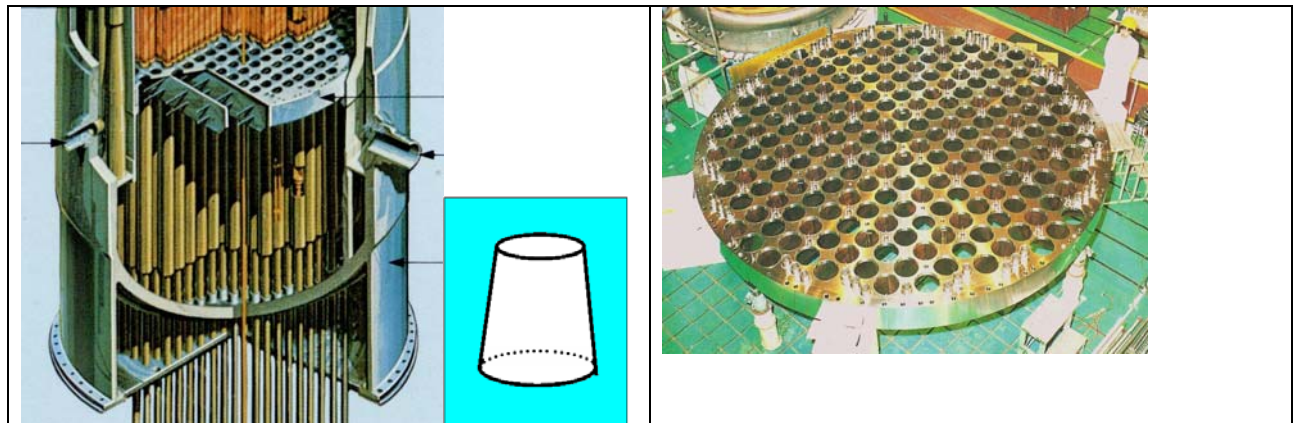
格納容器・水没前

（圧力容器への注水量を、蒸発量程度に少なくしている場合。圧力容器で発生した蒸気は、圧力抑制室で水に戻り、圧力抑制室の1/3程度だけが水となっている。）

格納容器・水没後

（圧力容器への注水量を増加させ、圧力抑制室で凝縮して水に戻る量を増加させ、排気管から、格納容器の気相部（ドライウェル部）へ水を溢れさせて、圧力容器を外から冷やす案。）

なお、原典も指摘していますが、圧力容器の底は冷やすことができません。（福島原発では、圧力容器の底に燃料の一部が落下しており、「この部分を水棺案で冷やせるから有効」という説明がなされていますが、BWRの構造からは不適切な説明です。）



圧力容器の外側の下部は「スカート」という構造物があって、格納容器を水で満たして行くと、水中でコップを逆さまにしたのと同じく、コップの底に空気（窒素）が充満し、水はコップの中へ入っていきません。つまり、直接、圧力容器の底に接して、冷やす事ができません。

もう一つの理由は、圧力容器の底には、約 150 本の制御棒案内管が配置され、底部は孔だらけで、直接、水に面する割合は少ないのです。

上の写真は炉心支持板ですが、孔の開いている部分以外が、水に接することのできる領域で、仮に底部に水が来たとしても、冷やせる割合は少ないことが分かります。

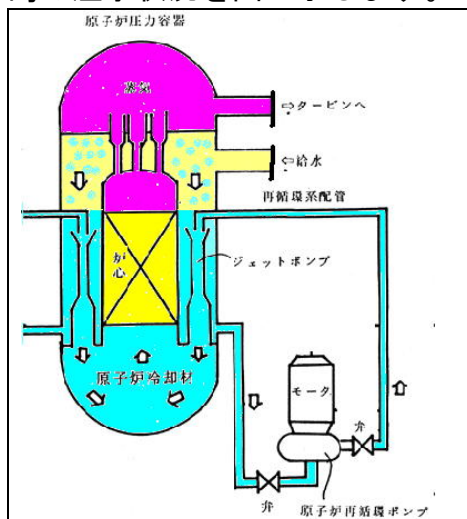
以上のことから、原典を正しく読めば、福島と条件が違ってくるのが分かります。

①原典は、炉心冷却ができない場合の最後の手段として示しているのもあって、放置すればどうせ圧力容器・格納容器を突き破ってしまうなら、危険な案でも考慮に値します。しかし、福島原発では注水ができていますから、危険な案を採用すべきではありません。

②そもそも、熱は熱い所から冷たい所へ流れます。熱の流れが温度差に比例するというのは、物理学の基本です。原典の温度差はなんと約 1500 度です。一方、福島の場合は、圧力容器内を 5 気圧とすれば、炉水の温度は注水箇所が 80 度、出口で 150 度程度です。一方、格納容器内を 3 気圧とすれば、130 度程度です。精々、数十度の温度差しかありません。ですから、こんな少ない温度差では、熱は殆ど流れていきません。

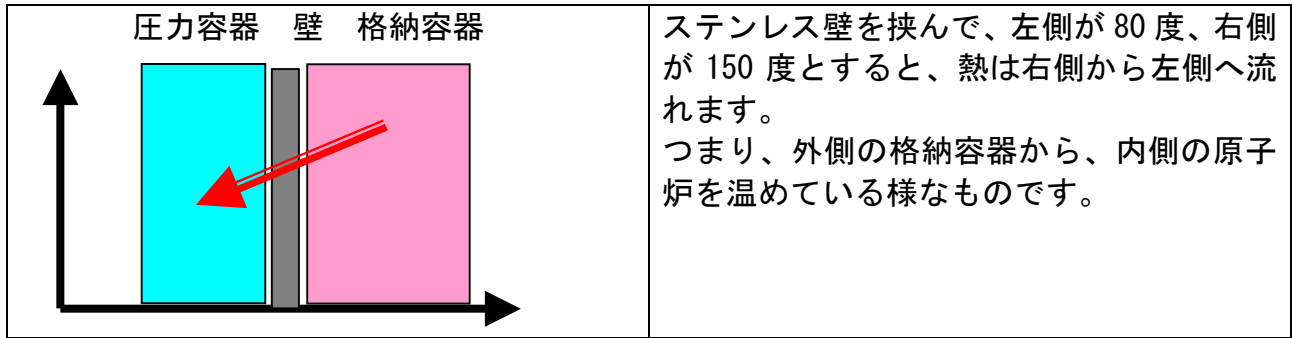
③圧力容器内張りはステンレスで、ステンレスは熱伝導が悪い（鉄の 1/3）ということと、圧力容器の厚さは 15cm 以上あって、熱が伝わりにくい、ということです。精々、数十度の温度差では、殆ど熱は伝わりません。

④原典では、炉内には水が無く、1500 度の高温になっていると想定しています。一方、福島の注水状況を図に示します。

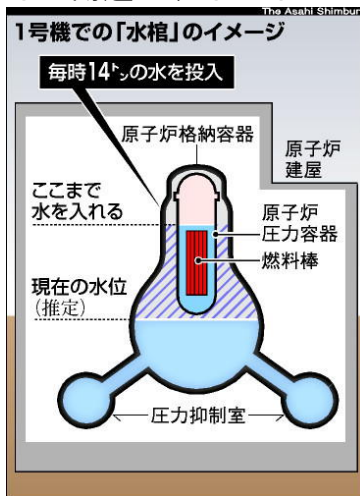


注水をどこからしているか不明ですが、再循環系に注水していると仮定すると、原子炉底部の温度が最も低く、炉心出口の蒸気を抽出した残りの熱水は、給水入口を通過するので、給水入口が最も高い温度のはずです。また、3/26 保安院資料「1号機は給水系に注入」の通りなら、圧力容器の上下部とも同一温度のはずです。以上、いずれにしても、圧力容器の外周部分は、温度が低く、80 度程度と推定されます。

以上の温度条件を基に、圧力容器の壁の付近を1次元的に模式化すると、下記の図のようになります。



⑤前記のように、圧力容器の底部は冷やす事ができません。これは原典も問題点として指摘しています。下記のような図（朝日新聞 4/26）だけを見ると、圧力容器の底部も冷やせると勘違いするかも知れませんが、構造上、冷やせないことは上に説明しました。



一方、格納容器を満水にすることの危険性は、色々あります。現在、原子炉内の蒸気は格納容器へ出て行っているため、格納容器が最後の、かつ唯一の砦ですから、絶対に守らなければなりません。

- ①満水時には6000トン（福島3号機の場合）もの重量が増えた格納容器が、今後の余震で破損する危険性
- ②水圧が掛かって、格納容器の配管継ぎ目などが破損する危険性
- ③格納容器を満水にしない場合は、地震での揺れ（スロッシング）で、思わぬ圧力が格納容器に掛かる危険性
- ④窒素封入の圧力によって、格納容器が破損する危険性
- ⑤海水注入で、腐食が進行していると推定される格納容器が破損する危険性

以上より、メリットが何もないのに、最後の砦を自ら破壊するような危険な行為をすべきではない、と考えます。

2011-5-4 記