

## 原発汚染物質拡散防止と長期収束に向けたプラン B

東北大学 流体科学研究所 圓山重直

作成日 2011/4/1

### 概要

一刻も早い燃料棒の冷却システムの回復が望まれるが、現在でも放射能の放出は継続し、地域社会は壊滅的な打撃を受けつつある。放射能の排出停止を早急に停止するための代替案（プラン B）を提案する。従来の努力を続けながら、本案を実施することによって原発封じ込めをより確実にすることができると考える。プラン B は、(1) 外部凝縮器による緊急冷却、(2) サーモサイフォンと自然対流を用いた無動力燃料棒冷却システム、(3) 半永久封じ込めのための方策、からなる。

以下に詳細を説明する。無動力燃料棒冷却システムに関しては後日配信する。

### はじめに

原発事故収束のために各位の努力が続けられているが、非常用冷却システムの電源回復の作業を含め予定されたスケジュールより大幅に遅れている。早期の冷却システム立ち上げを待ちたい。その間、3つの炉心から 13MW（崩壊熱の推定値（HTC Rep. 1.2）より換算）、プール内からは約 2.6MW 分（新聞報道より）の汚染水蒸気が環境に放出され続けている。この放出が長引けば、周辺地域の汚染・蓄積が広がり、その保証・賠償をはじめとした社会的損害は膨大になる。また、観光・農産物・輸出・技術に関する国際的な日本の評価は致命的になる。本年は幸にして冬型の気候が続き、放射能排気のかかなりの部分が太平洋に拡散・着水した。しかし、これからは移動性高気圧と低気圧（つまり大きな渦）が通過する気候となるので、風向きの関係で放射性物質がまんべんなく地上に拡散・蓄積する。

これまで通り、燃料冷却機器の機能回復に全力を投入すべきである。しかし、早急に問題を解決する他の手段（プラン B）も考えて、一刻も早く環境への放射能放出を止めることも必要である。つまり、問題解決に幾つかの代替プランを平行に準備して（プラン C、D も考える）、適切な時期に投入することが望まれる。

そこで、外部機器を使った放出水蒸気の抑制方法を提案する。さらに、原発の長期安定化に向けた動力を使用しない冷却方法の提案も行う。

ただし、本レポートのプラン B は、発熱が崩壊熱のみの場合であり、部分核分裂が継続している場合には適用できない。この、可能性は低いと考えたい。

### 原子炉冷却（近々の対策）

圧力容器に格納されている燃料集合体は依然と崩壊熱（もし部分臨界がなければ）を発生している。この冷却には、外部から水を導入しているが、質量保存とエネルギー保存の法則に従い、この水は放射汚染された水蒸気として放出される。また、余剰の水が過飽和食塩水を流したバルブを介して各所で漏れていると想像される。したがって、

- ・ まず、投入する水量を適正に制御して崩壊熱だけの水を注入し、現在の液面を保つ。もし、燃料棒が露出していても、水が圧力容器半分を占めていれば燃料棒は破損しないと予想される。（HTC Rep. 2.1

参照) 燃料棒が破損してペレットとして水没している場合も同様である。

- ・ 問題は、外部から水を導入しそれを蒸気として環境に放出することにある。そこで、北海道大学奈良林先生が提案されているように、外部冷却による蒸気凝縮と凝縮水の炉内注入を行う。
- ・ 日立、三菱（重工、電機）、ダイキン、前川製作所等の空調機器メーカーに問い合わせ、納入直前の大型ガスヒートポンプなどの凝縮器を複数台譲ってもらう（新しく発注する時間はない）。これをトラックのトレーラーに装着しトレーラーだけを炉建家近くに設置する。さらに、海水くみ上げポンプと凝縮水を炉内に投入するポンプも接続する。凝縮水輸送ポンプは、現在真水を投入している配管に接続する。
- ・ タービン建家上部にある（たぶんあまり汚染されていない）蒸気パイプから外部にパイプを接続し外部の凝縮器に接続する。海水循環ポンプによって、凝縮器ないに海水を循環させる。凝縮器の蒸発管は本来冷媒を流すパイプなので、このシステムは長時間（数ヶ月）運用できないことに注意する。
- ・ トレーラーのモーターに外部電源を接続し運転を行う。
- ・ 蒸気パイプのバルブを開き、排気蒸気を凝縮器に流す。このとき、高圧になっている（数気圧程度）圧力容器が急激に圧力低下することにより容器内に突沸が起これり、パイプを閉塞させないように注意する。
- ・ 加圧容器からサプレッションチャンバーへのバルブを閉じる。圧力容器の圧力は1気圧以下になるので炉内温度が低下する。また、外部凝縮器には100℃程度の蒸気（若干の放射性揮発成分を含む）のみが流入するので、放射能汚染のリスクが最小限に抑えられる。
- ・ 原子炉の運転時のように蒸気取り入れ口が水面以下にならないようにする。
- ・ この手法はメンテナンスが必要なので、1-2ヶ月ぐらいの運用が限度であろう。

### プールの冷却(近々の対策)

現状では、上部から注水しそれを蒸発させている。4号炉の燃料体は特に発熱量が大きいので燃料棒が破損している可能性があり、汚染物質の環境への排出が続いている。これを止めるためには2つの手法が考えられる。

#### プラン B-1

- ・ まず、ロボットやヘリコプターを用いてプールに取水パイプと給水パイプを設置する。この作業は困難が予想される。
- ・ トレーラーに複数のシェルアンドチューブ熱交換器を設置して炉建家近傍に設置する。
- ・ ポンプでプールの水を取水し海水で冷却した後でプールに戻す。プールの水が沸騰しない温度まで冷却量を増やす。
- ・ 燃料棒の発熱を水の顕熱で奪うので大量の水が必要である。また、ポンプがプールの30m下に位置するため高圧・高汚染の冷却水が循環する。万が一、漏れると大変なことになる。ただし、装置の設置作業に伴う被爆は少ない。

#### プラン B-2

- ・ 屋上の瓦礫を撤去してプールの縁を綺麗にする。この作業は困難が伴うが、日本で作っている海底作業用ロボットブルドーザーや遠隔操作作業機器で可能ではないかと思われる。瓦礫は下に落とし、それも片付ける。

- ・ ゴムの縁を付けたアルミ製の「風呂のふた」をヘリでプールに装着する。これも作業の困難が伴うが、富士山山頂レーダーもヘリで運んだので不可能ではないと思います。
- ・ プールが外気と遮断されるので、上部から蒸発蒸気を建家外に設置した凝縮器に導き、海水で凝縮させポンプでプールに戻す。
- ・ この手法は、外部機器に蒸気のみが通るのでパイプが漏れたときの汚染がプラン B-1 に比べて小さい利点がある。ただし、屋上の瓦礫を綺麗にする必要があること、プールのフタとプールの縁との間の機密を保つ必要があるなどの問題がある。

## 長期プラン

外部電源による炉心とプールの冷却が可能となること、または、上記プラン B による冷却が成功した場合、長期にわたり炉心の冷却を行う必要がある。外部動力を必要とする機器の冷却は、(1)運転に電気エネルギーが必要であること、(2)今回のように停電が長期続く場合などは緊急の対応が必要であること、(3)最長 30 年にわたり継続することは、経費的に負担が大きいこと、(4)機器の交換等で高汚染領域に立ち入る人員の安全に関しても問題があること、が懸念される。

我々のグループでは、自然対流と凝縮を利用したサーモサイフォンを用いた無動力冷却装置を設計中である。現在の段階では、 $5 \times 5 \times 5\text{m}$  の自然対流凝縮器 1 台で約 300kW の冷却が可能である（設計仕様については変更の可能性あり）。2 号機の場合、崩壊熱は事故発生から 30 日で 4 MW に減少するので、本器を屋上に 20 台取り付ければ、外部動力なしで炉心の冷却が可能である。屋上の設置面積には余裕がある。また、プールも恒久的なフタをして同様の冷却器を設置することによって冷却可能である。この凝縮器は常に負圧（大気圧より低圧）となるので、放射性物質の外部放出の心配がない。さらに、この冷却機は、外部電源冷却機のバックアップともなる。

以下に長期封じ込めプランの手順を提案する。

- ・ 外部電源またはプラン B で放射能の外部放出を押さえながら炉心とプールの燃料体を冷却する。
- ・ 屋上や地上に散乱する放射性瓦礫の撤去、2 号機の上部建家の撤去を行う。
- ・ 技術的には難しい装置ではないが、無動力冷却装置を製作して、製作工場での性能試験を実施する。
- ・ 2 ヶ月後（放熱量 3MW 以下）に炉建家屋上に無動力冷却器を取り付けて試運転を行う。しばらく様子を見てから、外部電源装置を止めて無動力冷却を実施する。
- ・ その間、タービン建家やその他付帯設備の解体を行う。同時に、高濃度汚染物体と軽微な汚染物体を選別して分離貯蔵する。炉建家の外見補修と外装の塗装も行う。いかにも残骸として公衆に曝し続けるのはイメージ的に良くないと思います。
- ・ 10 年後（放熱量 0.2MW に減少）を目処に、無動力冷却装置を 30 年程度利用可能な装置に交換する。
- ・ 場合によっては燃料棒を取り出す。特にプールの燃料棒は取り出す必要があるかもしれません。スリーマイルアイランドの例に習えば良いと思います。
- ・ 高汚染物体を炉建家に収納し、完全密封して封鎖する。
- ・ 30 年後、発熱量が 40kW に減衰したところで、冷却装置を取り外し、炉建家を完全に封印する。この値で冷却装置が取り外せるかどうかは、後日検討したい。今のところ概略値である。
- ・ 周囲を更地化して、地域の植物を植栽して自然林とする。この森は立ち入らないので、間伐等の手を

入れなくても良い樹種を植林し、自然の淘汰に任せる自然林として炉建家とともにモニュメント化する。山火事が起きてもそのままにする。

サーモサイフォンを用いた無動力炉心及びプール冷却装置については、現在設計中であり、近日中に配信する予定である。