

2014年1月30日

筒井哲郎

IRID 技術提案 その3 熔融燃料デブリの空冷化

1. 目的

福島第一原子力発電所の汚染水問題は、地下水流入も止めることができず、増え続ける汚染水を貯めるタンクの容量も不足し、かつ構造上の欠陥によって汚染を拡大しつつある。この状態を一刻も早く解消するための有力な手段が、熔融デブリを、現行の汚染水循環による水冷方式から空冷方式に切り替えることである。熔融燃料デブリの発熱量は、すでに空冷化が可能なレベルに減少している。

本稿において、計画の概念を示す。その上で、当事者から既設設備の施工条件の情報を提供願った上で、さらに具体的な基本設計を提案したい。

2. 熔融燃料デブリの崩壊熱量およびコリウム内の伝熱

1) 燃料デブリの崩壊熱量

水冷による除熱実績を参照して下記とする。

1号機 約 60kW

2号機 約 150kW

3号機 約 150kW

これがどの程度の熱量かを考える目安として、除熱を完全に止めた場合、原子炉建屋のコンクリートおよび設備機器の全量に平均的に熱量が伝達するとして計算してみると表1の結果が得られる。すなわち2・3号機の熱量 150kW が均一に伝達された場合、全設備の温度上昇は113日間でわずかに10°Cに過ぎない(表1)。したがって、現状の発熱体の位置や塊の大きさを知るために一度冷却水を止めて温度変化がどうなるかを実験することを提案する。そのことは危険ではないし、計算による推測に比べてはるかに有用なデータを得る手段となる。

そのように考えると、デブリの全面から、伝導・輻射・対流の現象によって放熱が行われ、表面付近には、鋼材の融点あるいはコンクリートの分解点のような高温は生じないと考えられ、空冷に移行しても危険はないと考えられる。

2) 1号機の冷却

1号機の内部は、燃料デブリが格納容器底部のコンクリート面に固まっているものと推定される(注1)。デブリの直径を炉心等価直径(3.44m)とすると、デブリ厚さは1.4mとなり、その寸法の円筒形を仮定して、放熱が円筒上面での対流および輻射により冷却空気中に、また下面での伝導により床コンクリートへ行われるとすると、概

算でデブリ表面温度は上面で約 300℃、下面で約 150℃、はデブリ内部の最高温度は約 850℃である。

下面の床コンクリートに伝わった熱は伝導によって基礎下面を通じて地中へ抜けるか、または格納容器の鋼製シェルを通じて周辺空気に放熱することが期待でき、コンクリート構築物に対して構造的な危険を及ぼすことはないと考える。

以上をまとめると、空冷に移行すると 1 号機のデブリの概略温度分布は図 1 のようになると考える。

3) 2・3 号機の冷却

2・3 号機内のデブリは、大半が原子炉压力容器内にとどまり、元々の炉心部分と压力容器下部プレナムに接する部分の 2 箇所に固まっていると推定されている（注 2）。安全側の計算として、下部プレナムの上にひとかたまりの円筒状（直径 4.03m x 高さ 1.52m）になっていると仮定する。そして、放熱が円筒上面からは対流および輻射で冷却空気中に、また円筒下面からは伝導で原子炉压力容器鏡板部に、さらにその外側で空気中对流で行われるとすると、概算でデブリ表面温度は上面で約 450℃、下面でも約 450℃、デブリ内部の最高温度は約 1600℃である。したがって原子炉压力容器鏡板部が構造的な危険にさらされることはない。

以上をまとめると、空冷に移行すると 2・3 号機のデブリの概略温度分布は図 2 のようになると考える。

3. 冷却方式のケース

次の 4 ケースが考えられる。

	方式	前提条件	適用予想号機
Case-1	格納容器外面 1 pass 冷却	デブリの熱が格納容器内面に伝わり やすい位置に分布している場合	1 号機
Case-2	格納容器内 循環冷却	デブリの熱が格納容器内循環空気 によって伝わる場合	1 号機代案
Case-3	原子炉压力容器内 循環冷却	デブリの相当部分が压力容器内部に とどまっている場合	2 & 3 号機
Case-4	格納容器内既設空調 システムを利用	既設の格納容器内空調システム (HVAC 系) が健全な場合。	1、2、3 号機

4. 情報提供と研究開発

われわれは、さらに検討を進めるために、次の資料が提供されることを希望する。

また、1 日も早い空冷化の実現のために、共同研究開発を望んでいる。

- 1) Case-1 および Case-2 の場合、格納容器または原子炉圧力容器に、直径 500mm 以上の入口ノズル、出口ノズルがあるか。複数のノズルが使える、その断面積合計がこの寸法相当であっても良い。
- 2) それらのノズルに配管（または薄板空気ダクト）を接続する際に、被ばく線量が作業可能かどうかを検討するために、建屋内各位置と格納容器内の最近の線量データを提供願いたい。
- 3) Case-4 の検討のために、既設の格納容器内の空調システム（HVAC 系 = Heating, Ventilating and Air Conditioning System）が運転可能か、または、故障していて修復不能か。運転可能の場合には、その仕様書、図面を提供願いたい。
- 4) 現状の各号機の冷却水量、入口・出口温度、水位のデータをご教示願いたい。併せて、それぞれの測定計器（温度計、流量計、水位計）の位置を図示していただきたい。
- 5) 過去の冷却ポンプ電源トラブルの際に、どの程度の温度上昇が発生したかの記録を見ればその時点の崩壊熱が推算できるはずである。その時のポンプ停止時間、水量、温度変化、温度測定位置などのデータをご教示願いたい。
- 6) 既設スタックに接続することは可能か（もし放射線量が高くて、接続作業ができないときは別の放出口を設ける）。
- 7) 機器やダクトを設けるスペースはあるか。関連図面の提供をお願いします。
- 8) 動力・ユーティリティの Availability。

5. 参考資料

- 1) IRID 研究推進部「燃料デブリ取り出しに向けた技術開発について」

2013 年 10 月 8 日

<http://www.nsra.or.jp/safe/fdecomi/haifu02-02-05.pdf>

6. 添付資料

図1 1号機を空冷化したときの予想温度分布

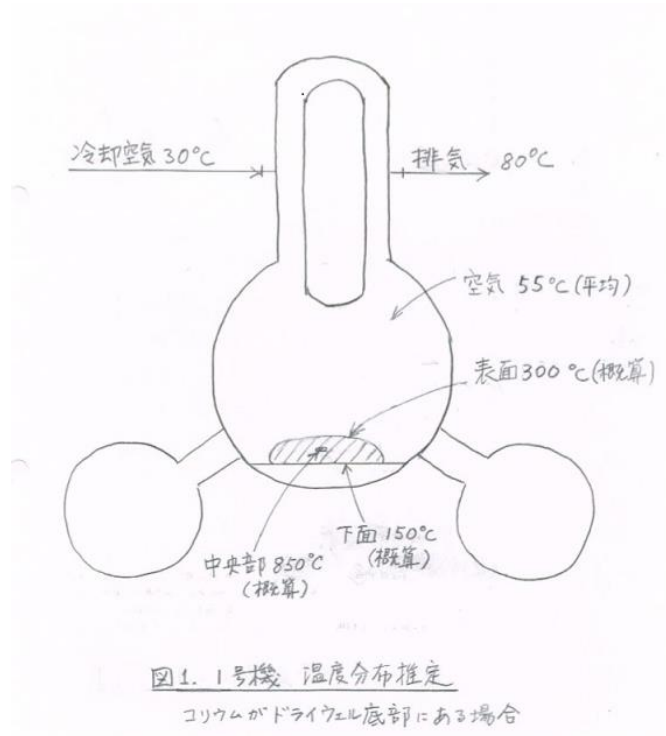


図2 2・3号機を空冷化したときの予想温度分布

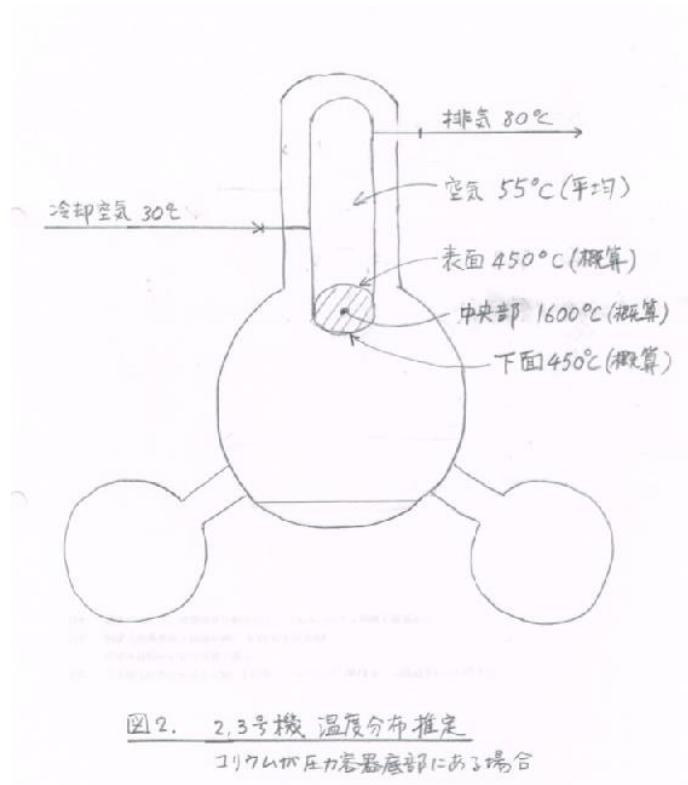


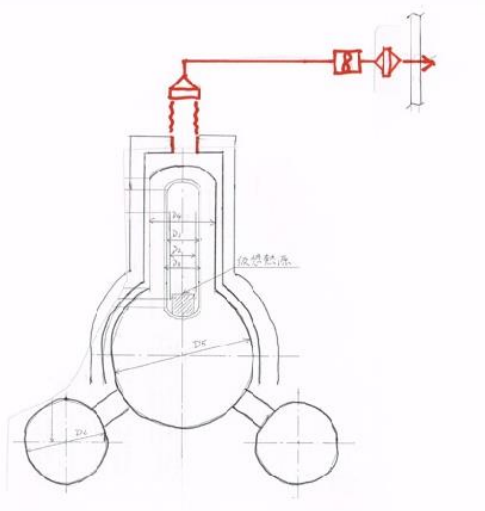
図3 フローシート Case-1、Case-2、Case-3

技術提案: 空冷化計画
添付資料 (図3)

フローシート

- (1) Case-1: 格納容器外面 1 pass 冷却
- (2) Case-2: 格納容器内 循環冷却
- (3) Case-3: 原子炉圧力容器内 循環冷却

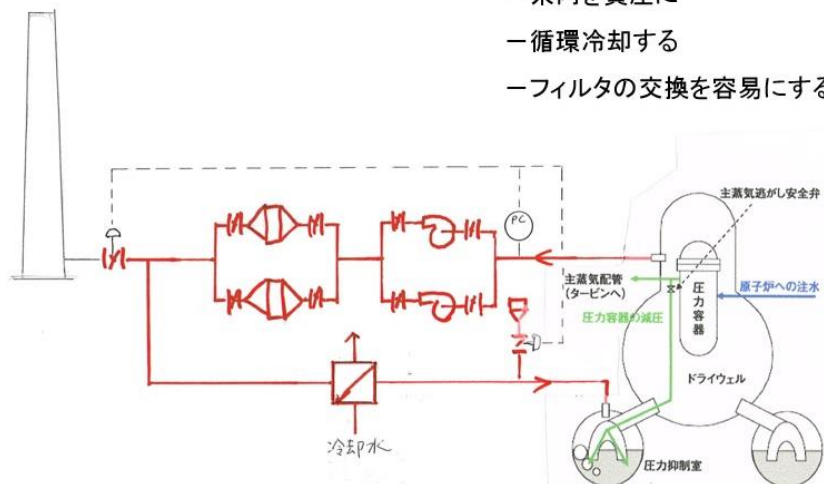
(1) フローシート Case-1
格納容器外面 1 pass 冷却



(2) フローシート Case-2
格納容器内循環冷却

条件

- 一系内を負圧に
- 循環冷却する
- フィルタの交換を容易にする



(3) フローシート Case-3 原子炉压力容器内循環冷却

条件

- 一系内を負圧に
- 循環冷却する
- フィルタの交換を容易にする

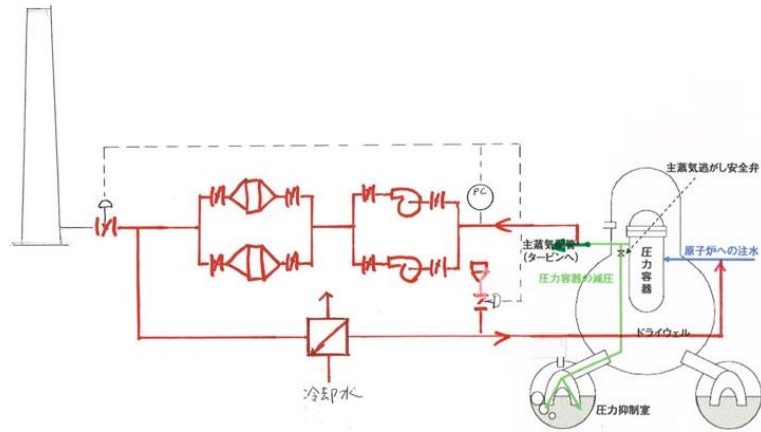


表1 ヒートシンクとしての原子炉設備

		表1	ヒートシンクとしての原子炉設備			2014-01-28 筒井
番号	項目	単位	1号機	2号機	3号機	備考
1	原子炉建屋重量	t	55,000	83,000	83,000	コンクリート製 *1
2	機器総重量	t	11,000	17,000	17,000	鋼製 *1
3	コンクリート比熱	kcal/kg・°C	0.40	0.40	0.40	*2
4	鋼比熱	kcal/kg・°C	0.11	0.11	0.11	*2
5	崩壊熱	kW	60	150	150	
		kcal/h	51,600	129,000	129,000	1kW=860kcal/h
6	設備を1°C上昇させるに必要な熱量	kcal	23,210,000	35,070,000	35,070,000	
7	設備を1°C上昇させるに必要な時間	h	450	272	272	
		日	19	11	11	
8	設備を10°C上昇させるに必要な日数	日	187	113	113	
		月	6.2	3.8	3.8	
9	設備を20°C上昇させるに必要な月数	月	12.5	7.6	7.6	
出典						
1	Wikipedia「福島第一原子力発電所設備の仕様」 http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%A6%8F%E5%B3%B6%E7%AC%AC%E4%B8%80%E5%8E%9F%E5%AD%90%E5%8A%9B%E7%99%BA%E9%9B%BB%E6%89%80%E8%A8%AD%E5%82%99%E3%81%AE%E4%BB%95%E6%A7%98					
2	日本機械学会『機械実用便覧』1956、P.201					

注1. 東京電力「福島第一原子力発電所 1～3号機の炉心状態について」2013年11月30日、P31

http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/images/handouts_111130_09-j.pdf

以上