

添付資料 1

「3号機のベントに関する検討」

1. 目的

NHK スペシャル「メルトダウン File.5 知られざる大量放出」では、下記に述べるような内容が放送された。

*3月15日の午後から16日早朝に掛けて、全体の10%に相当する大量放出が観測された。

*その特徴はヨウ素濃度が大きいことで、そのことから3号機の5回目のベントがその原因であると推定される。

*そのメカニズムは“格納容器から排気塔に至るベントラインには地下埋設管があり、その埋設管内には1回から4回までのベントによって放射性ヨウ素が吸着されていた。そのヨウ素が地下埋設管内の残留水中に濃縮されていて、5回目のベントの際に一気に放出された”と推定され、その仮説がデモンストレーション実験によって証明された。

本資料で述べる検討内容は、放送された仮説および実験内容が3号機で起こりえるものだったかどうか焦点を当てたものである。

2. 3号機のベント履歴 (1) (2)

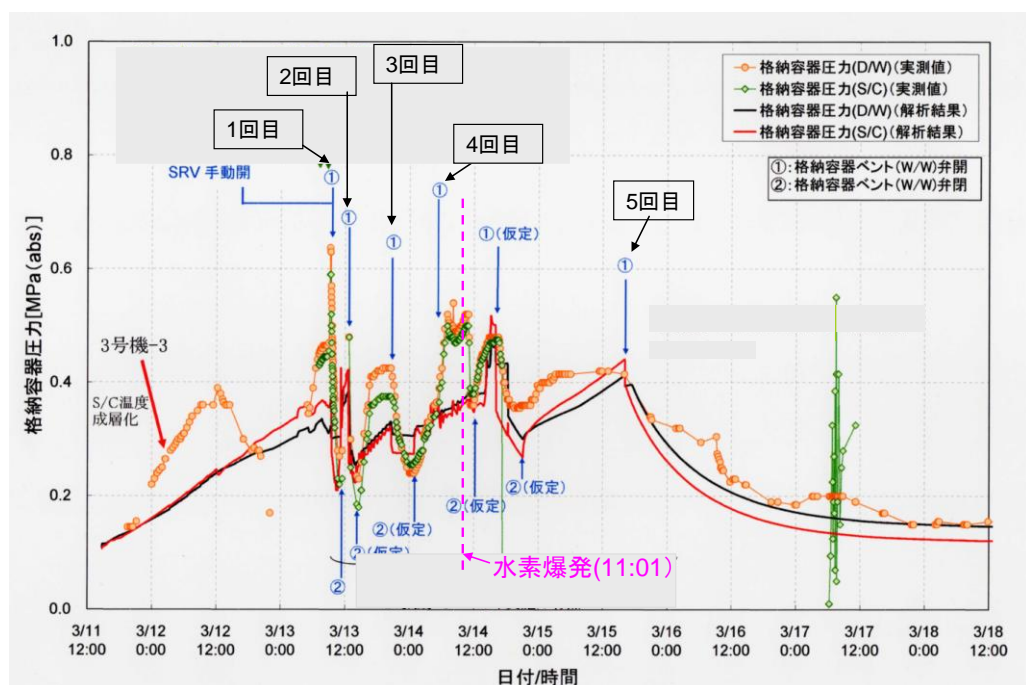


図1 3号機のベント履歴

表1 3号機のベントの経緯 (13日～15日)

回数 No.	日時	格納容器圧力(MPa) abs	
		弁「開」時	弁「閉」時
1回目	13日 9時過ぎ	0.63	0.26
2回目	13日 12時過ぎ	0.46	0.18
3回目	13日 20時過ぎ	0.43	0.23
4回目	14日 6時過ぎ	0.52	0.36
5回目	15日 16時～17日夜	0.44	0.15

3号機は13日の未明に炉心の冷却ができなくなり、危機的な状況に陥った。そこで消防車からの注水を行うために同日9時頃に圧力容器の減圧を行い、引き続き1回目の格納容器ベントを行った。それ以降は、格納容器の健全性を確保すると同時に消防車からの注水を可能にするためにベントが繰り返された。ベントの経緯を図1および表1に示す。

2. ベントによって格納容器から放出される水量および熱量

(1) 1回目のベントについての検討事例

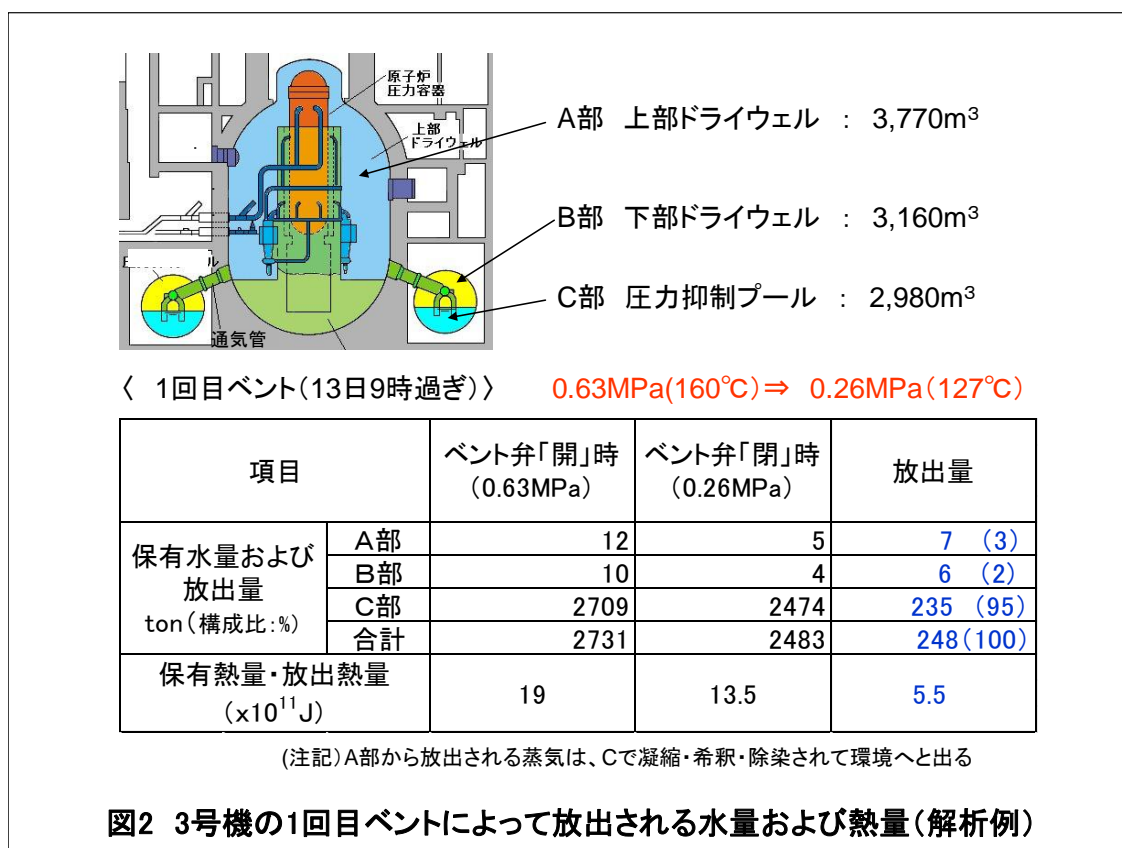


図 2 に 3 号機の格納容器の構造および各部分の容量を示す。1 回目のベントは 13 日の 9 時過ぎに行われ、格納容器の圧力は 0.63MPa から 0.26MPa に低下した。このベントに関する解析結果を事例として、格納容器の中でどのような現象が起こるかを以下に示す。

- * ベント開始時には格納容器内部は圧力が 0.63MPa の飽和状態（160℃）の水および蒸気で満たされている。A部（上部ドライウエル）は放射性物質を多量に含む蒸気 12 トンで、C部（圧力抑制プール）は約 2700 トンのプール水で、プール水上面のB部（下部ドライウエル）は 10 トンの蒸気で満たされている。ベント弁を開くと格納容器全体が大気（0.1MPa）に解放されて圧力が低下するため、C部のプール水が激しく沸騰し、多量のプール水が蒸発する。その蒸発潜熱で格納容器内の圧力・温度が急激に低下する。解析によると、ベント弁が閉じられた 0.26MPa の状態ではA部には 5 トンの蒸気が、C部には 2474 トンのプール水が、B部には 4 トンの蒸気が残る。
- * ベントによって格納容器から放出される量は、0.63MPa の状態から 0.26MPa の状態を差し引いて求められ、A部からは 7 トンの蒸気が、B部からは 6 トンの蒸気が、C部からは 235 トンのプール水、合計 248 トンの水が外部環境へ放出されることが分かる。放出された水が保有していた総熱量は 5.5×10^{11} J である。

（2）1 回目～5 回目のベントについての解析結果

表 2 に 1 回目～5 回目のベントについての解析結果を示す。

表 2 ベントによって格納容器から放出される水量と熱量、および残留水量

ベントNo.	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	
日時	13日9時過ぎ	13日12時過ぎ	13日20時過ぎ	14日6時過ぎ	15日16時～ 17日夜	
圧力変化 (Mpa)	0.63⇒0.26	0.46⇒0.18	0.43⇒0.23	0.52⇒0.36	0.44⇒0.15	
放出水量 ton(%)	A部	7 (3)	5 (2)	3 (2)	3 (3)	6 (3)
	B部	6 (2)	5 (2)	3 (2)	3 (3)	5 (3)
	C部	235 (95)	221 (96)	154 (96)	102 (94)	245 (94)
	合計	248(100)	231(100)	160(100)	108(100)	256(100)
放出熱量 ($\times 10^{11}$ J)	5.5	5	3.9	2.3	5.4	
残留水量 ton	0.7	0.5	0.6	0.9	0.4	

ベントを行うと毎回 100～250 トンの大量の高温・高圧蒸気が格納容器から放出されることがわかる。その約 95%は C 部（圧力抑制プール）からの蒸気で占められている。格納容器から放出される熱量は約 5×10^{11} J の大きさである。

表 2 にはベント終了時の残留水量を示したが、残留水のふるまいについては後

述する。

3. 圧力抑制プール水による放射性物質の除染性能

BWR（沸騰水型軽水炉）では格納容器内に3,000トン近い大量のプール水を保有しているが、この目的はA部から放出される放射性物質を多量に含む蒸気を除染し、外部環境への放射性物質の放出量を少なくすることにある。

ベント弁を開くと高温・高圧の飽和状態であったC部のプール水は減圧されるため激しく沸騰し始める。A部（上部ドライウェル）からは放射性物質を多量に含む蒸気が通気管を通過してC部の沸騰している大量のプール水の底部（水深約4m）に放出され、蒸気が持っている潜熱をプール水に与えて冷却・凝縮し、大量のプール水と混じり合う。このプロセスを“スクラビング”と呼んでいる。このスクラビング効果によって外部環境への放射性物質の放出量が大幅に低減される。

スクラビングによる放射性物質の除去性能については、国内の電力会社と原子炉メーカーが共同で詳細な実験を行い、その結果が報告されている。その代表的な結果を図3に示す。(3)

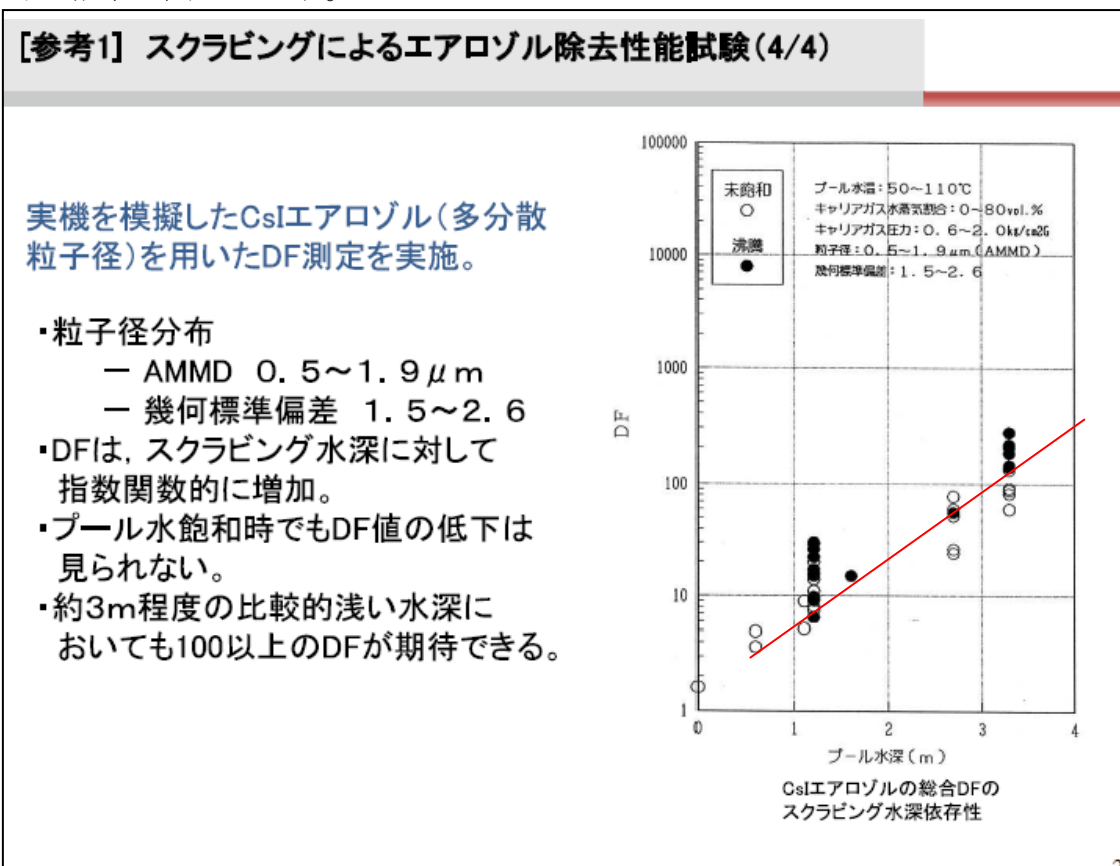


図3 スクラビングによるエアロゾル除去性能

スクラビング効果は格納容器内の放射性物質の何分の一が外部環境に放出されるかを示す DF (Decontamination Factor) で評価される。例えば、DF=100 は〈1/100〉が、DF=1,000 は〈1/1,000〉が外部環境へ放出されることを意味している。

炉心で生成される放射性ヨウ素は主として CsI (ヨウ化セシウム) の形で格納容器に放出されるため、実験には実機を模擬したエアロゾルの粒径分布を整えた CsI を用いている。図 3 には A 部の蒸気が C 部のプール水中に放出される場合の水深を横軸に、縦軸に DF を取って実験結果が示されている。プール水の状態が未飽和状態 (沸点以下の場合) を○で、沸騰状態の場合を●で示されている。

注目すべきはプール水が沸騰している方が沸点以下の場合よりも DF が高い値を示していることである。また、DF は蒸気が放出される水深が大きいほど高い値を示しており、水深 3m 程度でも DF は約 100 である (放射性物質の 1% が外部環境へ放出され、99% がプール水中に残留する) ことが分かる。

3号機における1回目から5回目のベントは格納容器内の圧力が大気圧より高い状態でベントが行われており、プール水はベント弁が開くと沸騰する。

ここで表 2 に示す解析結果に戻り、5 回目のベントの状況に注目すると、下記のようなことが推測される

- * A 部から放出された蒸気は 6 トンであるが、ベントによって放出された蒸気の総量は 256 トンであり、放射性物質を多量に含む蒸気量は全体の 3% を占めるに過ぎず、残りの 94% はプールの沸騰による蒸気である。
- * A 部から放出された蒸気は 3,000 トン近い大量のプール水で潜熱を奪われて凝縮して飽和水となり、沸騰による激しい攪拌効果でプール水と均一に混じり合って希釈され、スクラビング効果によって放射性物質がプール水に溶解してその大部分はプール水中に残留したと推定される。

一方、図 4 に示すように、実機のベント管の先端までの水深が 3m 以上あるのに対し、NHK がイタリアの SIET 社の大規模な試験装置で実施した縦長のガラス製矩形水槽を用いた試験では、ベント管の長さは映像から推定すると約 1.5m くらいである。ベント管も細く、扁平な矩形流路で実機の模擬性も悪い。

図 3 の除染係数 DF は水深 3 m で約 100。一方 SIET 社で実施した試験では水深が浅いため DF は約 10 に低下していることは当然であって、これは番組で主張しているサプレッションプールが沸騰したためではない。これによって、多量の放射性物質が排気管に流入したと主張するのは誤りである。

NHK に反省を求めたいのは、貴重な受信料を使って、イタリアの SIET 社で火力発電所からの蒸気を使った大規模試験において、水深の浅い模擬性の良く

ない試験を実施したために、視聴者に誤解を与える（ミスリードする）番組になってしまったことである。

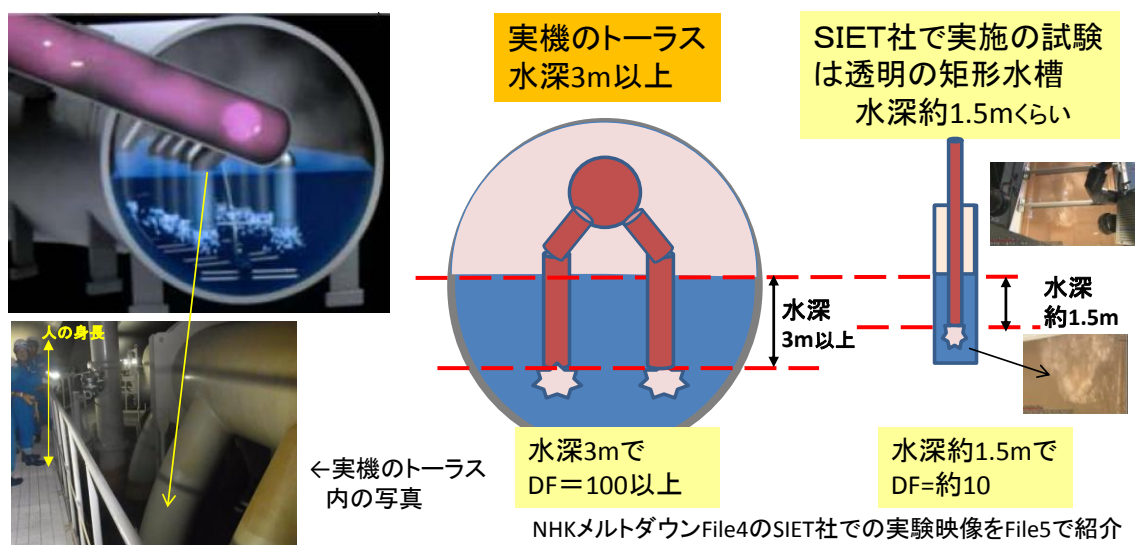


図4 NHKがイタリアのSIET社で実施した試験でDFが低下した原因

水深が浅いと除染係数DFが大幅に低下することを知っていてこの実験をして番組を編集したとすれば、「やらせ」であるし、知らないとすれば、複数の専門家の議論を経ずして番組を製作した「調査不足」「認識不足」である。

なお、番組に出演し、東京海洋大学のアクリルの小型実験装置でベント試験を実施した教授に意見を求めたところ、「原子力を離れて20数年、詳しいことは分からない。試験はNHKからの業務委託で実施した。」とのことであった。

本来、番組を製作するのであれば、原子力学会等に委託して複数の専門家による討議によって得られた結論によって番組の製作をすべきである。番組の正確さを確保することは、公共放送としての使命であろう。

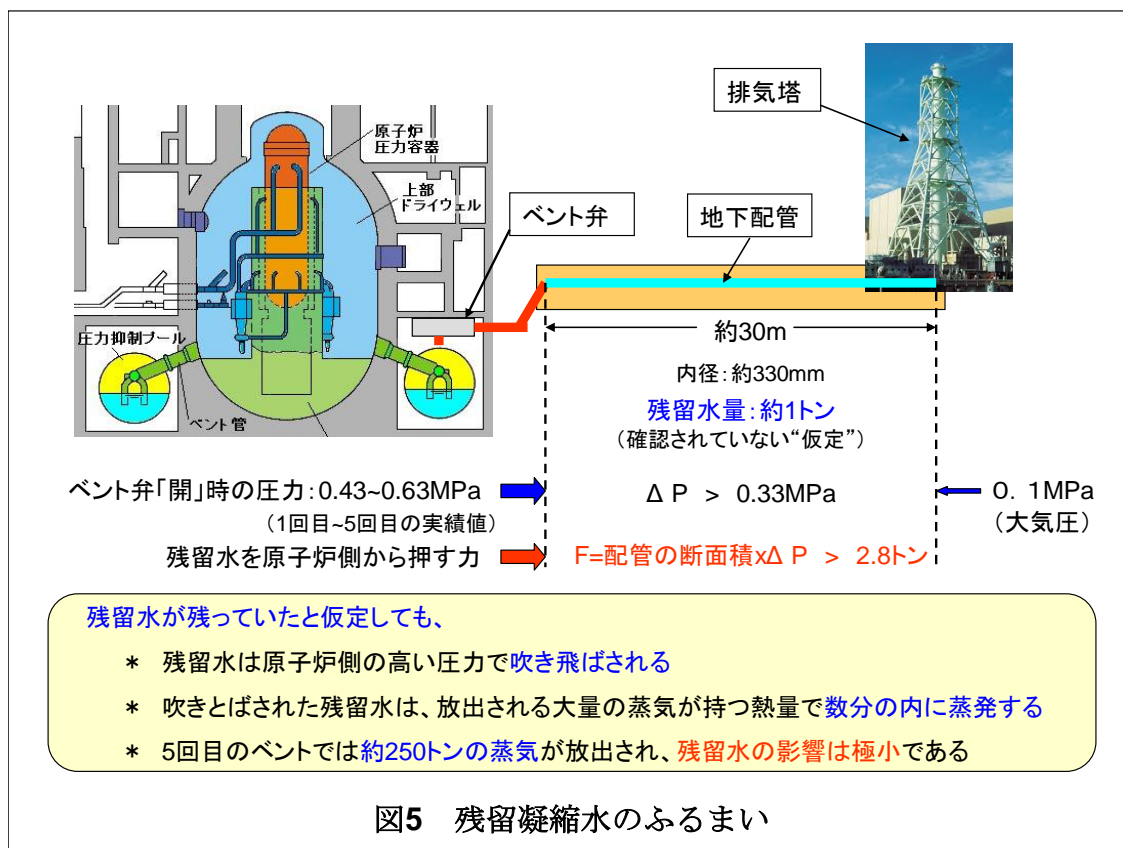
4. 残留凝縮水のふるまい

当該番組放送ではベントラインにある地下埋設管に凝縮水が溜まることを指摘している。凝縮水が残りやすい配管の場合、配管の長さ方向に勾配を付け、最も低い部所にドレンを設けて水が残りにくくするのが一般的な設計である。しかし、3号機の詳細な設計情報が手元にないため、残留水の存在を否定はできない。しかし、その量は推定できる。

3号機のベントラインの容量は約 500m^3 である。1回目のベントでは配管内に 0.26MPa の飽和蒸気（ 127°C ）が残った状態でベント弁が閉じられた。その蒸気がベント後に凝縮して全量が残留水になったと仮定すると、その量は約0.7トンである。4回目のベントでは 0.36MPa でベント弁が閉じられたため、残留

水量が最も多いが、それでも 1 トン未満である

ベント弁を開いた時点で前回のベントの残留水が地下埋設配管に残っていた可能性は否定できない。その残留水があったと仮定し、その残留水がベント時にどのようにふるまうかを図 5 に示す。



ベント弁を開くと地下埋設配管の格納容器側入り口には出口側との圧力差によって 2.8 トン以上の力が残留水（重さ約 1 トン）に働く。そして表 2 に示すように大量の高温・高圧の蒸気が一気に流れてくるため、残留水は一瞬にして吹きとばされる。吹きとばされた残留水を蒸発させるに必要な熱量は約 $3 \times 10^9 \text{ J}$ で、ベントによって放出される熱量（約 $5 \times 10^{11} \text{ J}$ ）の 0.6% 程度であるから、残留水は数十秒または数分の内に蒸発して排気塔から放出されると考えられる。

このような考察から、1 回目のベント後の残留水は 2 回目のベントで吹き飛ばされて蒸発し、2 回目の残留水は 3 回目のベントで吹き飛ばされて蒸発し、が繰り返され、ベントの回を重ねると残留水が増えることはありえない。

5 回目のベントは図 1 で示すように格納容器の圧力低下速度がゆるやかで、0.15MPa に達したのは 17 日の夜である。しかし、ベント弁を開いた時点での圧力の低下速度は早い。例えば 0.43MPa から 0.40MPa に低下する間に約 25 トンの、0.3MPa に低下する間には約 100 トンの高温・高圧の蒸気が地下埋設配管を通して放出される。5 回目のベントで格納容器から放出された水量は約

250 トンであり、その 94%は C 部のプール水から蒸発した蒸気である。

5. 放送内容に関する検討

【映像 40】 十五日の午後（20 時）以降翌朝までの時間帯をみると北西方向に放射性物質の濃度が極めて高い場所が現われました。この汚染をもたらしたものが今回新たに分かった全体の 10%を占める放出だったのです。

【映像 41】 専門家が注目したのはこの時間帯に放出された放射性物質の種類です。なぜかこの時間帯だけ放射性ヨウ素が大量に放出されていたのです。格納容器から直接もれていたとすれば、放射性ヨウ素ばかりがこれほど大量に出るはずがないと専門家は言います。ではどこから放出されたのか、15 日午後以降の記録を徹底的に洗いなおすと放出の少し前、3 号機である操作がおこなわれていたことがわかりました。ベントです。

* 放出されたヨウ素の濃度から原因をベントとするのは即断過ぎる。

* スクラビング効果による除染性能から、ベントが原因とは考えられない。

* ベント開始時間（15 日 16 時）と映像 41 で示されている 10%の放出時間（15 日 20 時から 16 日朝にかけて）には時間差があり矛盾する。残留水はベント弁が開いてから極めて短時間の内に外部環境へ放出され、15 日 20 時頃から翌朝まで掛かって継続的に放出されることはありえない。

【映像 45】 そこでベントによる放出経路をすべて調べることにしました。注目したのは 30m に及ぶ地下の長い配管です。実はこの配管はベントで放射性物質を出す際、最終的なフィルターの役割を果たします。ここまでに水で捉えきれなかったヨウ素などの放射性物質が配管の内面に吸着されます。記録によれば 3 号機はそれまでに 4 回のベントをおこなっていました。大量放出は 5 回目のベントのタイミングで起きていました。「1 回目、2 回目、3 回目のベントと 5 回目のベントはかなり様子が違う。

* 配管が大量の放射性物質を蓄積するフィルターの役割を果たすとは考えられない。その理由の説明もない。

【映像 46】 ベントを繰り返すうちに水が溜まり始めたのです。

4. で述べたように、このような現象は実機では起こりえない。

【映像 47】 しばらく水と蒸気が押し合う状態が続きます。

4. で述べたように、このような現象は実機では起こりえない。

【映像 47】 排出されたヨウ素の量を測ると 1 回目の 10 倍以上になっていました。

残留水の量は高々 1 トン程度である。残留水中の放射性物質の濃度が 10 倍になったと仮定しても、ベントで放出される水量の 1%以下の量であり、影響は微々たるものである。全体の 10%に及ぶ程の影響が出るとは考えら

れない。

【映像 48】 やはりこうゆうところにトラップされたものが、ぶわっと出てくるということは事実として分かりましたんですね。

原子力発電所の安全性理解に重要な影響を及ぼす実験においては、試験装置の仕様や実験条件を全て開示し、実験結果の信頼性を客観的に判断できるようにするのが必要条件である。ある条件下では放送されたような実験結果が得られることは否定しないが、ベントの特性が「事実として分かった」とする科学技術的な正当性を主張する根拠にはなりえない。

「事実として分かった」と主張する場合は、放送前に学会との場で討議するか、今からでも客観的に評価ができる論文等の形で公開することが必須である。

以上

参考文献

- (1) 石川迪夫「考証 福島原子力事故“炉心溶融・水素爆発はどうおこったか”」
日本電気協会新聞部、(2014年3月28日)
- (2) 東京電力「福島第一原子力発電所 1～3号機の炉心・格納容器の状態推定と未解明問題に関する検討 第2回進捗報告」、(2014年8月6日)
- (3) BWR 電力共同研究報告書「放射能放出低減装置に関する開発研究」
(PHASE 2)、昭和63年～平成5年