

副本

平成28年(ワ)第289号, 平成28年(ワ)第902号, 平成29年(ワ)第447号, 平成29年(ワ)第1281号

原告 [REDACTED] 外

被告 四国電力株式会社

平成30年7月26日

準備書面 (9)

広島地方裁判所民事第2部 御中

被告訴訟代理人弁護士

田代

健



同弁護士

松繁

明



同弁護士

川本賢

一



同弁護士

水野絵里奈

代



同弁護士

福田

浩



同弁護士

井家武

男

目 次

第 1	重大事故等対策の位置付けに関する被告の考え方について	1
第 2	重大事故時における水蒸気爆発に係る被告の評価について	3
第 3	原告らの主張に対する反論	15
1	本件 3 号機における水蒸気爆発発生の可能性について	16
2	本件 3 号機の炉心溶融時における原子炉圧力容器への注水につ いて	20
3	本件 3 号機におけるコアキャッチャーの設置について	22
第 4	まとめ	24

原告らは、平成30年3月15日付け原告ら準備書面15において、重大事故時における炉心溶融に伴う水蒸気爆発の危険性について主張する。そこで、本書面では、第1において水蒸気爆発の前提となる重大事故¹に至るおそれがある事故及び重大事故（以下「重大事故等」と総称する。）への対策（重大事故等対策）の位置付けに関する被告の考え方について述べた上で、第2において重大事故時における水蒸気爆発に係る被告の評価について述べ、第3において原告らの主張に対する反論を行う。

第1 重大事故等対策の位置付けに関する被告の考え方について

- 1 被告は、本件3号機の立地地点及びその周辺の自然的立地条件（地震、津波等）について詳細な調査を行い、その特性を十分に把握した上で、深層防護の考え方に基づき、まず、放射性物質の放出につながるような異常が発生することを未然に防止するための対策（異常発生防止対策）を講じ、次に、仮に何らかの異常が発生した場合であっても、その異常を放射性物質の放出のおそれのある状態までには拡大させないための対策（異常拡大防止対策）を講じ、さらには異常が拡大した場合であっても、放射性物質を環境に大量に放出しないための対策（放射性物質異常放出防止対策）を講じている。このため、特に原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」という機能を有する安全上重要な設備については、基準地震動Ssに対する耐震安全性の確保をはじめとして、共通要因による故障の発生を確実に防止できることを確認した上で、さらに単一故障²の発生

¹ 「重大事故」とは、「炉心の著しい損傷」及び「核燃料物質貯蔵施設に貯蔵する燃料体又は使用済燃料の著しい損傷」をいう。

² 「単一故障」とは、単一の原因によって一つの機械又は器具が所定の安全機能を失うこと（従属要因による多重故障を含む。）をいう（乙67（20頁））。

を仮定しても安全機能が維持できるよう、多重性又は多様性及び独立性³を有する設備とするなどして高い信頼性を確保している。（平成28年6月1日付け答弁書「被告の主張」第9（248～259頁））

- 2 被告は、これらの安全確保対策について、都度、最新の知見、技術の進捗等を踏まえた評価・検討を行い、安全性が確保されていることを確認するなどして信頼性を確保してきた。そして、福島第一原子力発電所事故が津波という共通要因による故障の発生によって引き起こされたことに鑑み、共通要因故障の原因となり得る自然現象等への考慮を手厚くするという観点から、地震、津波等の自然現象についてより余裕を持たせた評価を行ってその対策を講じるとともに、自然現象以外の事象で共通要因故障の原因となり得る火災、溢水等に対する考慮を強化するなどして対策の信頼性を高めている（同答弁書「被告の主張」第10の3(1)(265～268頁)）。

したがって、本件3号機において、上記の安全確保対策（同答弁書「被告の主張」第9（248～259頁）で述べた「事故防止に係る安全確保対策」）が機能せず、水蒸気爆発の前提となる重大事故等に至る危険性はない。

- 3 しかしながら、福島第一原子力発電所事故が発生したことを踏まえ、また、事故防止に係る安全確保対策が機能せずに重大事故等に至ることをも仮定した対策を講じておくことが義務付けられたことなどから、被告は、万が一、重大事故等に至った場合であっても放射性物質が環境に異常に放

³ 「多重性」とは、同一の機能を有する同一の性質の設備（系統又は機器）が2つ以上あること、「多様性」とは、同一の機能を有する異なる性質の設備（系統又は機器）が2つ以上あること、「独立性」とは、2つ以上の設備（系統又は機器）が、設計上考慮する環境条件及び運転状態において、共通の要因又は従属的な要因によって同時にその機能が阻害されないことをそれぞれいう。（いずれも乙67（6頁））

出される事態を防止することができるよう、重大事故等対策を講じることとした。被告は、重大事故等対策を講じるに当たり、事象の発生頻度や仮に発生した場合の影響度合等を勘案し、対策を講じておくのが適切と考えられる有意な事象を複数選定した上で、それらの事象が発生した場合においても、放射性物質が環境に異常に放出されるような事態を防止することができるよう対策を講じることとした（乙13（10-6-1頁以下））。被告による事象の選定が適切であること、及びそれらの事象に対し被告が講じた対策が有効であることについては原子力規制委員会による審査において確認されている（乙16（119～265頁））。そして、被告においては、今後もさらなる安全性向上に取り組むこととしており、現在の知見では必ずしも解明できていない現象等についても、最新の知見の収集に努めつつ時宜を得た対応を行うこととしている（乙304）。

第2 重大事故時における水蒸気爆発に係る被告の評価について

- 1 水蒸気爆発は、高温液体と水などの低温液体とが接触すれば直ちに発生するような現象ではなく、種々の条件が揃った場合に、複雑な過程を経て初めて発生する現象である。すなわち、原子力発電所における水蒸気爆発発生の機序は、①高温の熔融炉心が原子炉容器破損口から原子炉容器外に放出され、原子炉下部キャビティ⁴の水中に落下し、水中に分散した熔融炉心は膜沸騰状態⁵の蒸気膜に覆われた状態で冷却材との混合状態となり、②さらに膜沸騰が不安定化して蒸気膜が局所的に崩壊すると、熔融炉心と冷却材との直接接触（液-液直接接触）により急激な伝熱が行われ、③その

⁴ 原子炉格納容器における原子炉容器下部の空間で、原子炉容器が破損した場合、熔融炉心はここに流出する。

⁵ 高温面で蒸気が連続した薄膜を形成した状態

結果、急激な蒸発が起こり、その過程において溶融炉心が微粒化し、新たな液-液直接接触による急速な伝熱により一気に水蒸気が発生し、④この現象が系全体に瞬時に伝播・拡大するというものである。

これらの機序を出現させる条件は、容易に揃うわけではなく、原子力発電所で想定される溶融物の過熱度を用いる等の実機と同等の条件においては、水蒸気爆発が発生する可能性は極めて小さいことが複数の実験の結果から科学的な知見として得られており、特に、原子力発電所において炉心の著しい損傷が発生した場合に想定される二酸化ウラン (UO_2) 及び二酸化ジルコニウム (ZrO_2) などが溶融して混合した高温液体 (溶融炉心) は融点が高く、外部からの強制的なトリガーを与えない場合には水蒸気爆発は発生せず、また、外部からの強制的なトリガーを与えた場合でも水蒸気爆発が発生しないことが確認されている。

以下では、水蒸気爆発に関して行われた複数の実験について述べる。

- 2 水蒸気爆発に関しては、これまでに複数の実験が行われており、そのうち実機において想定される溶融物 (二酸化ウラン (燃料ペレット) と二酸化ジルコニウム (燃料被覆管) の混合溶融物) を用いており、本件3号機の新規制基準適合性審査において判断材料として考慮したものとして、COTELS⁷、FARO⁸、KROTOS⁹がある (これらの実験データを表1に示す。)

⁷ 財団法人原子力発電技術機構がカザフスタン国立原子力センターにおいて行った実験。

⁸ 欧州JRC (Joint Research Center) がイスプラ研究所において行った実験。

⁹ 欧州JRC (Joint Research Center) がイスプラ研究所において行った実験で、あえてトリガーを与える実験を実施している。

表1 実機で想定される模擬溶融物を用いた水蒸気爆発に関する実験結果¹⁰

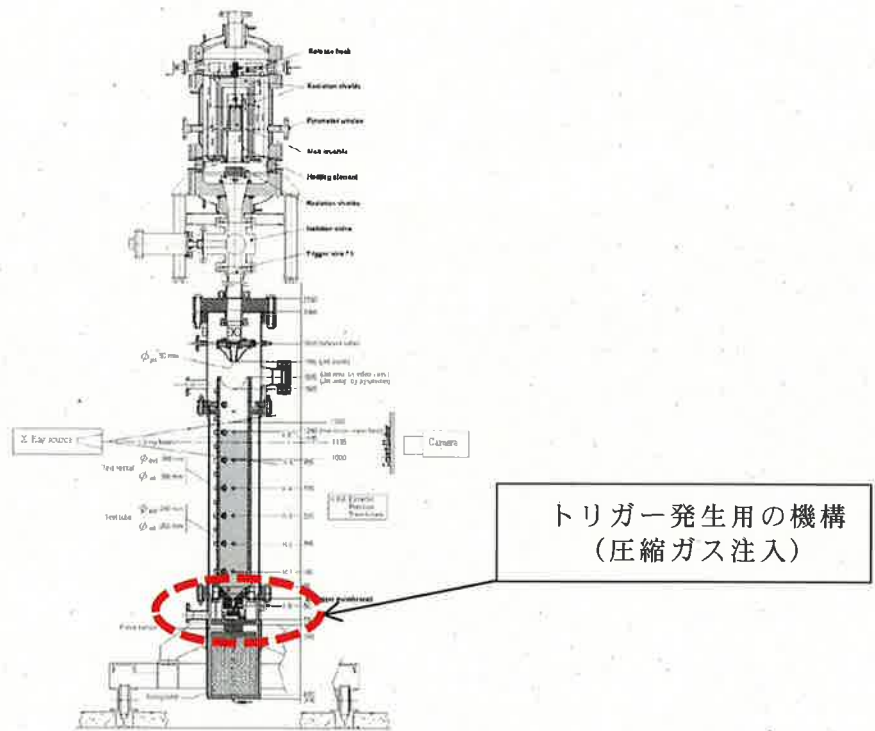
実験	実験 I D	溶融物タイプ	UO ₂ 質量割合	溶融物 質量kg	溶融物 温度K	サブクール度 K	外部トリガー の有無	水蒸気爆発 発生の有無
COTELS	A-1	55% UO ₂ + 5% ZrO ₂ + 25% Zr + 15% SS	0.55	56.30	3,050	0	—	—
	A-4	55% UO ₂ + 5% ZrO ₂ + 25% Zr + 15% SS	0.55	27.00	3,050	8	—	—
	A-5	55% UO ₂ + 5% ZrO ₂ + 25% Zr + 15% SS	0.55	55.40	3,050	12	—	—
	A-6	55% UO ₂ + 5% ZrO ₂ + 25% Zr + 15% SS	0.55	53.10	3,050	21	—	—
	A-8	55% UO ₂ + 5% ZrO ₂ + 25% Zr + 15% SS	0.55	47.70	3,050	24	—	—
	A-9	55% UO ₂ + 5% ZrO ₂ + 25% Zr + 15% SS	0.55	57.10	3,050	0	—	—
	A-10	55% UO ₂ + 5% ZrO ₂ + 25% Zr + 15% SS	0.55	55.00	3,050	21	—	—
	A-11	55% UO ₂ + 5% ZrO ₂ + 25% Zr + 15% SS	0.55	53.00	3,050	86	—	—
FARO	L-06	80% UO ₂ + 20% ZrO ₂	0.8	18.00	2,923	0	—	—
	L-08	80% UO ₂ + 20% ZrO ₂	0.8	44.00	3,023	12	—	—
	L-11	77% UO ₂ + 19% ZrO ₂ + 4% Zr	0.77	151.00	2,823	2	—	—
	L-14	80% UO ₂ + 20% ZrO ₂	0.8	125.00	3,123	0	—	—
	L-19	80% UO ₂ + 20% ZrO ₂	0.8	157.00	3,073	1	—	—
	L-20	80% UO ₂ + 20% ZrO ₂	0.8	96.00	3,173	0	—	—
	L-24	80% UO ₂ + 20% ZrO ₂	0.8	176.00	3,023	0	—	—
	L-27	80% UO ₂ + 20% ZrO ₂	0.8	129.00	3,023	1	—	—
	L-28	80% UO ₂ + 20% ZrO ₂	0.8	175.00	3,052	1	—	—
	L-29	80% UO ₂ + 20% ZrO ₂	0.8	39.00	3,070	97	—	—
	L-31	80% UO ₂ + 20% ZrO ₂	0.8	92.00	2,990	104	—	—
	L-33	80% UO ₂ + 20% ZrO ₂	0.8	100.00	3,070	124	—	—
	KROTOS	32	81% UO ₂ + 19% ZrO ₂	0.81	3.03	3,063	22	—
33		81% UO ₂ + 19% ZrO ₂	0.81	3.20	3,063	75	—	—
35		79% UO ₂ + 21% ZrO ₂	0.79	3.10	3,023	10	○	—
36		79% UO ₂ + 21% ZrO ₂	0.79	3.03	3,025	79	○	—
37		79% UO ₂ + 21% ZrO ₂	0.79	3.22	3,018	77	○	—
45		80% UO ₂ + 20% ZrO ₂	0.8	3.09	3,105	4	○	—
46		79% UO ₂ + 21% ZrO ₂	0.79	5.05	3,088	83	○	○
47		80% UO ₂ + 20% ZrO ₂	0.8	5.15	3,023	82	○	—
52		80% UO ₂ + 20% ZrO ₂	0.8	2.62	3,023	102	○	○
53		80% UO ₂ + 20% ZrO ₂	0.8	2.62	3,023	123	○	○

(乙13 (追補2. III「第3部MAAPコード」3.2-13~3.2-14頁)の表を基に作成)

¹⁰ 「外部トリガーの有無」の欄に○印があるのは、溶融物が水プールに落下中、人為的な圧力をかけて、強制的に膜沸騰状態の蒸気膜を不安定化させた(トリガーを与えた)実験であり、「水蒸気爆発発生の有無」の欄に○印があるのは、水蒸気爆発が発生した実験。

3 表1の実験結果を見ると、COTELS及びFAROにおける実験では、トリガーを与えておらず、いずれも水蒸気爆発は発生していない。

KROTOSにおける実験では、一部実験においてのみ水蒸気爆発が発生している。KROTOSの実験装置には、水蒸気爆発時の挙動を確認する観点から、あえて水蒸気爆発が発生しやすい環境とするため、図1のとおり実験装置底部に150気圧の圧縮ガスを放出する機構が設けられており（乙305（3～4頁））、水蒸気爆発が発生したケースは、いずれも溶融物が水プールに落下中に、装置底部の機構から圧縮ガスを供給することでトリガーを与えて、強制的に膜沸騰状態の蒸気膜を不安定化させた結果のものである¹¹。



（乙305（3頁）のFigure. 2に一部加筆）

図1 KROTOS実験装置

¹¹ KROTOSの実験では、トリガーを与えた場合でも水蒸気爆発に至らなかったケースがあり、トリガーを与えたとしても常に水蒸気爆発が発生するわけではない。

こうした実験結果を踏まえると、膜沸騰状態の蒸気膜を不安定化させるトリガーがない場合には、水蒸気爆発が発生する可能性は極めて小さいと考えられるところ、実機である本件3号機において、原子炉格納容器内の圧力上昇の観点で厳しい事象（大破断L O C A時に低圧注入機能及び高圧注入機能及び格納容器スプレイ注入機能が喪失する事故）を想定した有効性評価の解析において、原子炉格納容器内の圧力は最高値でも0.335 MPa [g a g e]（=約3.4気圧）にとどまり¹²（乙13（10-7-2-10～10-7-2-19頁，10-7-2-106～10-7-2-112頁，10-7-2-217頁の第7.2.1.1.9図），また，原子炉下部キャビティでも大きな圧力変化が生じない（乙13（追補2.Ⅲ「第3部MAAPコード」添付2熔融炉心と冷却水の相互作用について3.2-34頁の図5-1-4，同3.2-37頁の図5-2-4，同3.2-40頁の図5-3-4，同3.2-43頁の図5-4-4））ことを確認している。したがって，KROTOS実験における150気圧もの高い圧力が実機の原子炉下部キャビティにかかることは考えられず，実機において水蒸気爆発に至る可能性は極めて小さい。

- 4 実機において水蒸気爆発に至る可能性が極めて小さいことは，上記で述べたCOTELS，FARO，KROTOSの実験結果が示しているところであるが，原告らは，原告ら準備書面15において，韓国原子力研究所で実施された実機において想定される熔融物を用いた水蒸気爆発実験であ

¹² 本件3号機において，原子炉格納容器破損防止対策の有効性を確認するための評価目標として設定した事項は「0.566 MPa [g a g e]を下回ること」（乙13（10-6-14頁））である。重大事故等時における原子炉格納容器内の圧力は，最高で0.345 MPa [g a g e]である（乙13（8-9-143頁））。

るTROI¹³について縷々主張を行っていることから、実験結果を表2に示した上で、その内容について検討を行う。

表2 実機で想定される模擬溶融物を用いた水蒸気爆発に関する実験結果¹⁴

実験	実験ID	溶融物タイプ	UO ₂ 質量割合	溶融物質量kg	溶融物温度K	外部トリガーの有無	水蒸気爆発発生の有無
TROI	9	70%UO ₂ +30%ZrO ₂	0.7	4.3	3,200	—	—
	10	70%UO ₂ +30%ZrO ₂	0.7	8.7	3,800	—	○
	11	70%UO ₂ +30%ZrO ₂	0.7	9.2	>3,800	—	—
	12	70%UO ₂ +30%ZrO ₂	0.7	8.4	3,800	—	○
	13	70%UO ₂ +30%ZrO ₂	0.7	7.7	2,600(注1)	—	○
	14	70%UO ₂ +30%ZrO ₂	0.7	6.5	3,000(注2)	—	○
	17	70%UO ₂ +30%ZrO ₂	0.7			—	—
	18	78%UO ₂ +22%ZrO ₂	0.78	9.1		—	—
	21	80%UO ₂ +20%ZrO ₂	0.8	17.0	3,000	—	—
	22	80%UO ₂ +20%ZrO ₂	0.8	17.0	2,900	—	—
	23	80%UO ₂ +20%ZrO ₂	0.8	17.0	3,600	—	—
	25	70%UO ₂ +30%ZrO ₂	0.7	15.0	3,500	—	Steam Spike
	26	80%UO ₂ +20%ZrO ₂	0.8	17.0	3,300	—	Steam Spike
	29	50%UO ₂ +50%ZrO ₂	0.5	11.5		—	—
	32	87%UO ₂ +13%ZrO ₂				—	—
	34	70%UO ₂ +30%ZrO ₂	0.7	10.5	~3,000	○	○
	35	70%UO ₂ +30%ZrO ₂	0.7	8	~3,000	○	○
	36	70%UO ₂ +30%ZrO ₂	0.7	5.3	~3,000	○	○
	37	78%UO ₂ +22%ZrO ₂	0.78	8.1	~3,000	○	○
	38	78%UO ₂ +22%ZrO ₂	0.78	5.3	~3,000	—	—
	39	78%UO ₂ +22%ZrO ₂	0.78	3.4	~3,000	—	—
	40	70%UO ₂ +30%ZrO ₂	0.7	11.1	~3,000	—	—
	49	62.3%UO ₂ +15%ZrO ₂ +11.7%Zr+11%Fe	0.623	15.96	2,730 (3,360)	—	—
	50	59.5%UO ₂ +18%ZrO ₂ +11.9%Zr+10.6%Fe	0.595	14.46		—	—
51	60.5%UO ₂ +16.7%ZrO ₂ +12.1%Zr+10.7%Fe	0.605	6.3 (14.2load)	2,695 (3,420)	○	○	
52	61%UO ₂ +16%ZrO ₂ +12%Zr+11%Fe	0.61	8.6 (14.1load)	2,650	○	Steam Spike	

(注1) 参考文献「Fuel Coolant Interaction experiments in TROI using a UO₂/ZrO₂ mixture」によれば温度計測に問題があり、実際には3500K程度以上と推測されている。

(注2) 参考文献「Fuel Coolant Interaction experiments in TROI using a UO₂/ZrO₂ mixture」によれば二つの温度計が異なる最高温度(4000K, 3200K)を示しており、計測の不確かさが大きいとされている。

(乙306(5-2-14~5-2-15, 5-2-47頁)を基に作成)

¹³ 韓国原子力研究所(KAERI)において行った実験で、あえてトリガーを与える実験を実施している。

¹⁴ 「外部トリガーの有無」の欄に○印があるのは、溶融物が水プールに落下中、人為的な圧力をかけて、強制的に膜沸騰状態の蒸気膜を不安定化させた(トリガーを与えた)実験であり、「水蒸気爆発発生の有無」の欄に○印があるのは、水蒸気爆発が発生した実験。

表2の実験結果を見ると、トリガーを与えた場合に、水蒸気爆発が発生しているケースがある。これは、上記で述べたKROTOSにおける実験同様、あえて水蒸気爆発が発生しやすい環境とするため、図2及び図3のとおり爆薬（PETN¹⁵ 1g）によって、実測値で9MPa（=約90気圧）程度の圧力、つまりトリガーを与え（乙307（378頁））、強制的に膜沸騰状態の蒸気膜を不安定化させるという、実機の原子炉下部キャビティで生じるとは考えられない条件を付加した結果のものである。

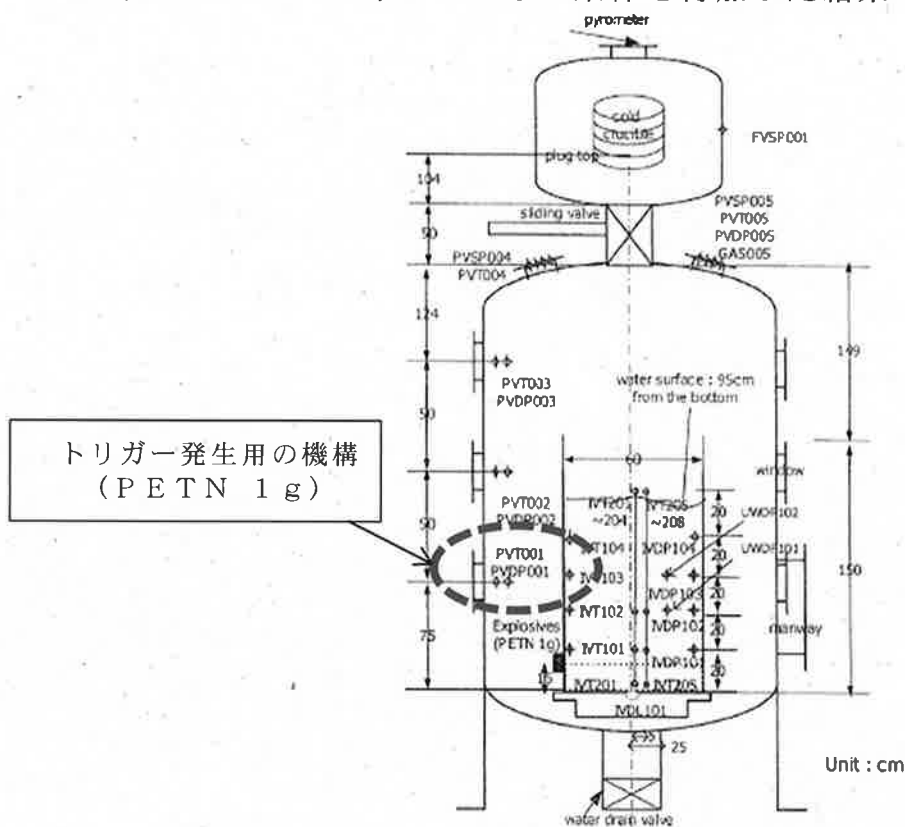


Fig. 1. The schematic diagram of the TROI experimental facilities in TROI-37.

(乙307(379頁)のFig. 1に一部加筆)

図2 TROI-37実験装置

¹⁵ 爆発威力が大きく熱に対して鈍感、自然分解を起こしにくい等の優れた特徴を持つ爆薬。

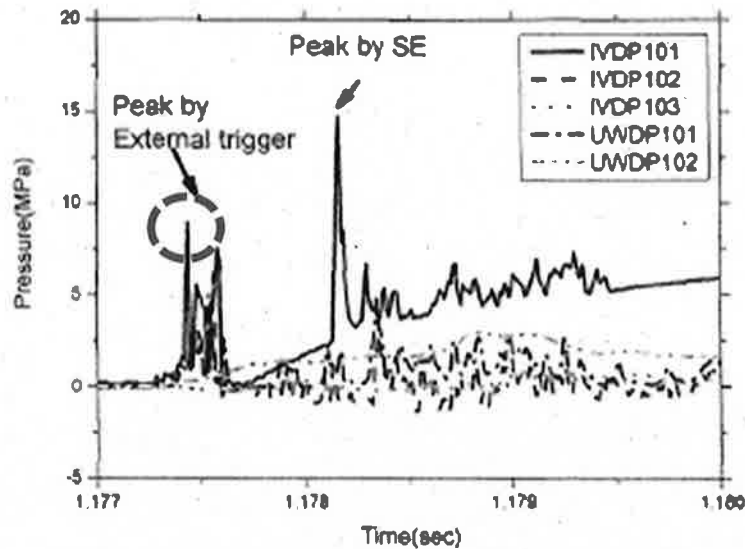


Fig. 7. Dynamic pressures in TROI-34.

(乙307 (384頁)のFig. 7に一部加筆)

図3 TROI-34実験の動的圧力

一方で、TROIにおける実験では、トリガーを与えていない4ケースにおいても水蒸気爆発が発生していることが確認されている（TROI実験ID10, 12, 13, 14）。これは、実機における熔融物の融点が2670K¹⁶程度；同じく実機における過熱度¹⁷は実機を模擬した解析結果や論文から300K程度（乙308（34頁））と想定されるどころ、いずれのケースにおいても熔融物の過熱度が実機で想定されるものより大幅に高い条件であったことが原因であると考えられる¹⁸。

¹⁶ K（ケルビン）：絶対温度ケルビン（K）。原子・分子の熱運動がほとんどなくなる温度を0K（絶対温度）とする温度の単位。0℃=273K。

¹⁷ 落下前の熔融物の温度と熔融物の融点（固体が液体に変化する時の温度）との差。熔融物の過熱度が高いほど、表面の固化までの時間が長くなり、細粒化も進むため水蒸気爆発が発生しやすくなる。

¹⁸ TROIの実験では、トリガーを与えた場合でも水蒸気爆発に至らなかったケースや、熔融物の過熱度が実機想定よりも高い場合でも水蒸気爆発に至らなかったケースがあり、トリガー等を与えたとしても常に水蒸気爆発が発生するわけではない。

具体的に言えば、実験 ID 10 及び実験 ID 12 の溶融物温度は、表 2 において、いずれも 3800 K（溶融物の融点を 2670 K とした場合、過熱度は 1130 K）であり、溶融物の過熱度が実機想定より高い条件下での実験である。

また、実験 ID 13 の溶融物温度は、表 2 において、2600 K と示されているが、この表の基となる 2002 年 TROI レポート¹⁹では、①測定温度が 3500 K 程度に達した際に、通気孔から多くのガスが出てきたこと、②ガスは温度測定に大きな影響を与えること、③図 4 に示すとおり、測定温度が 3500 K 程度に達した後も溶融物への加熱は続いていたことから、実際の温度が 3500 K 程度以上になる可能性が非常に高いと分析している（乙 309（8 頁））。

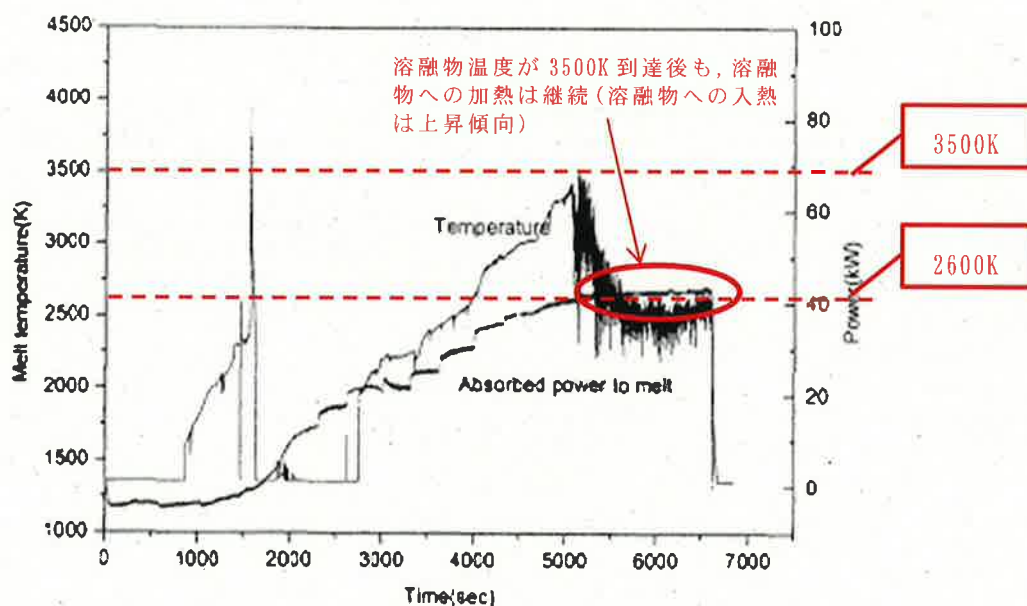


Fig. 7 Melt temperature and power absorbed in the melt TROI-13.

（乙 309（8 頁）の Fig. 7 に一部加筆）

図 4 TROI-13 実験の溶融物温度と溶融物への加熱

¹⁹ Fuel coolant interaction experiments in TROI using a UO₂/ZrO₂ mixture

実験 I D 1 4 の溶融物温度は、表 2 において、3 0 0 0 K と示されているが、同様に 2 0 0 2 年 T R O I レポートでは、図 5 を示しつつ、①実験 I D 1 4 では、測定温度の比較のため I R C O N 温度計²⁰と C H I N O 温度計²¹の 2 種類の高温度計が用いられたこと、② C H I N O 温度計での最高温度が 4 0 0 0 K 近くであった一方で、I R C O N 温度計での最高温度は 3 2 0 0 K 程度であったことから、この極めて高い温度における測定は、多くの不確かさを排除できないと分析している（乙 3 0 9（8～9 頁））。

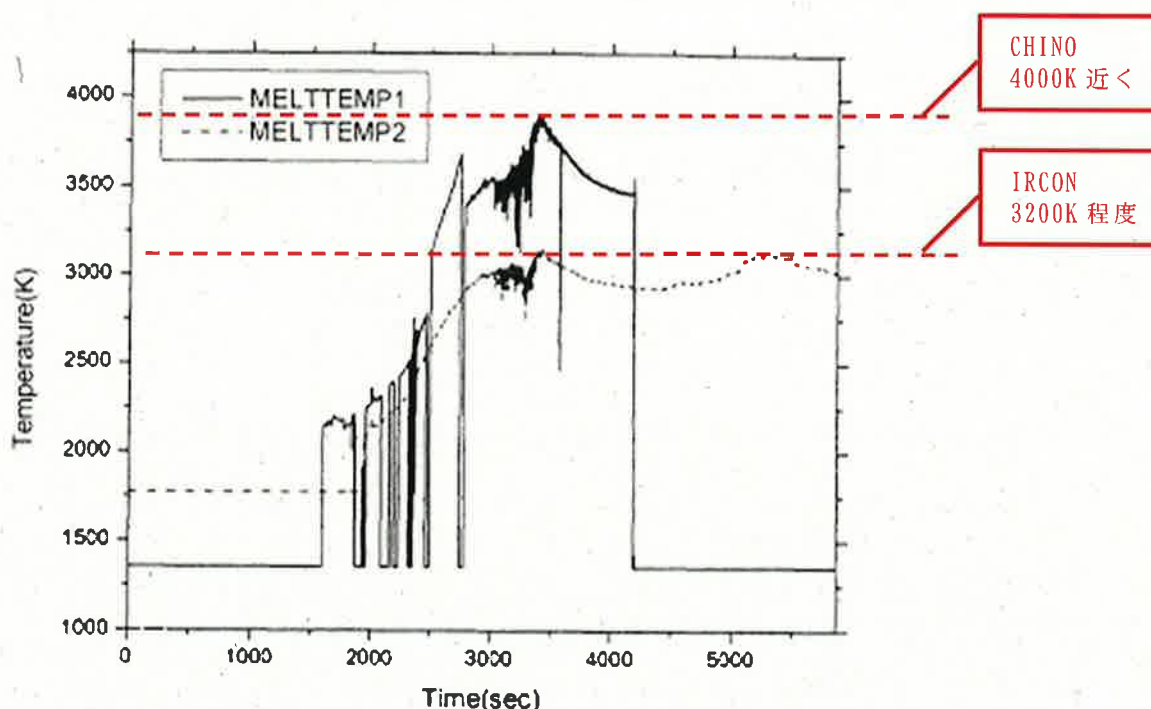


Fig. 8. Melt temperature for TROI-14 by CHINO and IRCON pyrometer.

（乙 3 0 9（9 頁）の F i g . 8 に一部加筆）

図 5 C H I N O 温度計と I R C O N 温度計による

T R O I - 1 4 実験の溶融物温度

²⁰ I R C O N 温度計とは、T R O I 実験において用いられた放射温度計で、1 5 0 0 ° C ~ 3 5 0 0 ° C（1 7 7 3 K ~ 3 7 7 3 K）の範囲の計測が可能である（乙 3 0 9（7 頁，Table 2））。

²¹ C H I N O 温度計とは、T R O I 実験において用いられた放射温度計で、1 0 0 0 ° C ~ 3 1 0 0 ° C（1 2 7 3 K ~ 3 3 7 3 K）の範囲の計測が可能である（乙 3 0 9（7 頁，Table 2））。

そして、実験 I D 1 3 及び 1 4 における測定温度の不確実性については、原告らが、原告ら準備書面 1 5 の 1 2 頁で述べる「2 0 0 3 年レポート」²² においても図 6 を示しつつ、ほぼ同様の分析がなされている。

すなわち、実験 I D 1 3 に関しては、①溶融物温度が 3 5 0 0 K 程度に達すると、通気孔から多くのガスが出てきたこと、②ガス中の粒子の粒径が測定波長と類似している場合、ガスの放出は温度測定に大きく影響すること²³、③ガス放出による温度測定への影響と、溶融物温度が 3 5 0 0 K 程度に達した後も溶融物への加熱が続いていることを考慮すれば、ガス放出時間中の測定温度の低下は誤っていると判断されることから、実際の温度が 3 5 0 0 K 付近になる可能性は非常に高いとしている（乙 3 1 0（7 9 3 頁））。

また、実験 I D 1 4 に関しては、①CHINO 温度計での最高温度が 3 8 0 0 K 程度（注：2 0 0 2 年 T R O I レポートでは、「4 0 0 0 K 近く」とされているが、同じことを指している。）であった一方で、IRCON 温度計での最高温度は 3 2 0 0 K 程度であったことから、②この極めて高い温度における測定は、多くの不確かさを排除できないこと、③溶融物の（試験設備への）供給直前の温度は、高温計の上限値に非常に近い 3 7 7 3 K であったとしている（乙 3 1 0（7 9 3～7 9 4 頁））。

²² Insights from the Recent Steam Explosion Experiments in TROI

²³ 放射温度計は、測定対象物の表面から発せられる放射エネルギーの強度を測定して遠隔で温度を求めるが、測定対象物との間に粉塵やガス粒子等の障害物がある場合は、放射エネルギーが吸収又は散乱されることから測定誤差が生じる。

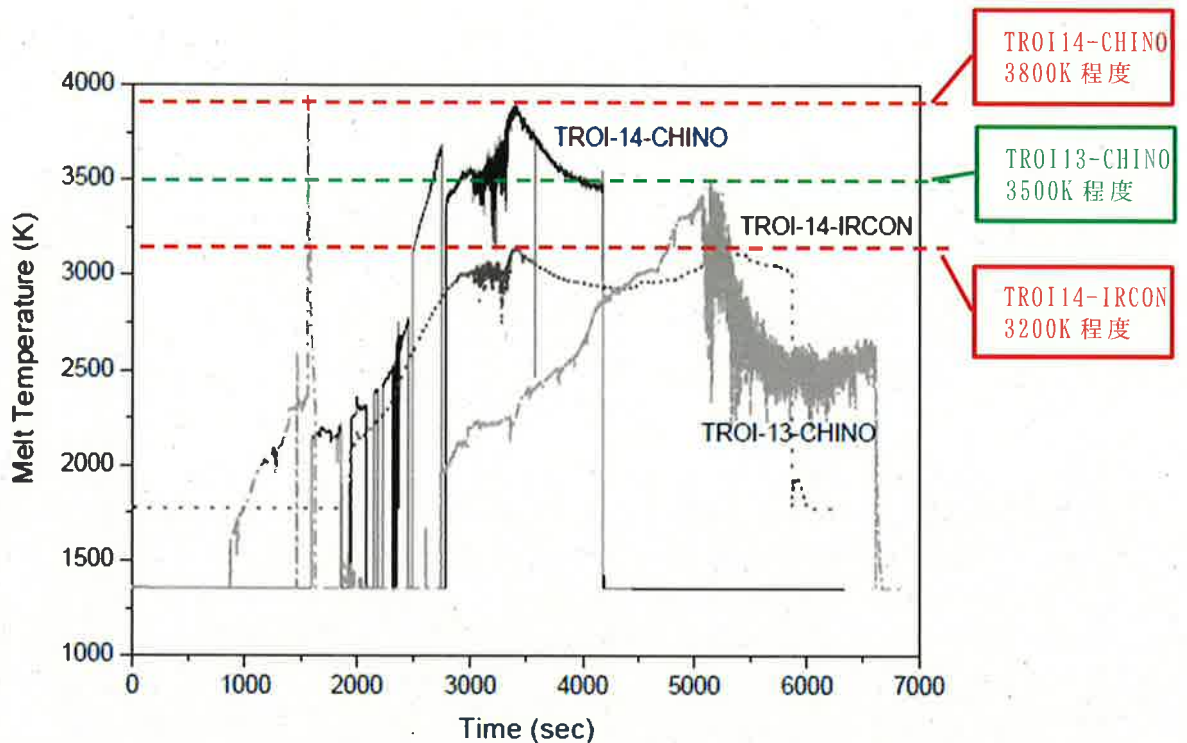


Fig. 17 Melt temperatures for TROI-13 and TROI-14

(乙310(794頁)のFig. 17に一部加筆)

図6 TROI-13実験と14実験の溶融物温度

上記の2002年TROIレポート及び2003年TROIレポートの分析は、実際には、実験ID13の溶融物温度は、3500K程度又はそれ以上（溶融物の融点を2670Kとした場合、過熱度は830K程度又はそれ以上）と推測されること、また、実験ID14は温度計測の不確かさが大きいものの、試験設備への供給直前の溶融物温度は3773K（溶融物の融点を2670Kとした場合、過熱度は1103K）であったことを示唆しており、いずれも溶融物の過熱度が実機想定より高い条件下での実験であることを示している。つまり、TROI実験において自発的水蒸気爆発が発生したとされる4ケース（実験ID10, 12, 13, 14）は、いずれも溶融物の過熱度が実機想定より非常に高い条件下での実験であったと言える。

ちなみに、こうした測定温度の不確かさに関する分析について、原子力規制委員会は、本件3号機の審査書案に係るパブリックコメントに対する回答において、「TRO I 装置による実験のうち、自発的な水蒸気爆発が生じた実験については、溶融物に対して融点を大きく上回る加熱を実施するなどの条件で実施しており、実機の条件とは異なっています」（乙311（別紙1の64頁））と説明している。

5 温度測定に不確かさがあるTRO I 実験の信頼性への疑問は措くとしても、これまでに述べたとおり、各種の水蒸気爆発に関する実験結果及び分析から得られる科学的知見は、細粒化した溶融炉心を覆う膜沸騰状態の蒸気膜には安定性があり、実機条件では想定し難い圧力や過熱など、何らかのトリガーがなければ蒸気膜の崩壊は起こりにくいことを示している。そして、実機においては、溶融炉心が原子炉下部キャビティ水に落下する際、実験で付加したような膜沸騰状態の蒸気膜を不安定化させるトリガーが加わる要素は考えにくいことから、水蒸気爆発に至る可能性は極めて小さく、原子炉格納容器の健全性へ与える影響はないと考えられるのである（乙13（10-7-2-104～10-7-2-105頁，追補2. III「第3部MAAPコード」添付2溶融炉心と冷却水の相互作用について3. 2-9～3. 2-12頁））。

第3 原告らの主張に対する反論

原告らは、原告ら準備書面15において、水蒸気爆発の危険性に関する一般論や原告ら独自の見解等について縷々述べるが、本件3号機に関する主張は概ね以下の3点に整理できる。

- ・TRO I 実験におけるID10, 12, 13, 14の結果を基にすれば、実機条件でも自発的な水蒸気爆発は起こり得るのであるから、水蒸

気爆発の発生を前提とした防止策を考えるべきである。

- ・重大事故等防止技術的能力基準²⁴の要求事項の規定「熔融炉心の原子炉格納容器下部への落下を遅延又は防止するため、原子炉圧力容器へ注水する手順等を整備すること。」を守っていない。
- ・コアキャッチャーの設置は今や世界の趨勢と言ってよく、MCCI²⁵対策としては、コアキャッチャーを設置すべきである。

以下、原告らの主張に対して必要な範囲で反論を加える。

1 本件3号機における水蒸気爆発発生の可能性について

原告らは、原告ら準備書面15の11頁以下「(2) トロイによる実験とレポートの検討」において、2002年レポート、2003年レポート、2007年レポートに関し、2002年レポートで「熔融物温度は3100℃以上とされた」ものが、2003年レポートにおいて「上記熔融物温度「3100℃以上」が修正」され、実験ID13が2327℃、実験ID14が2727℃となり、さらに2007年レポートでは「窓ガラスを通した測定値は1500～2700℃の範囲で較正された。」と報告されている。」とする。その上で、原告ら準備書面15の14頁において、「トロイ実験において発生した自発的水蒸気爆発は、「実機では有り得ない高温な熔融物」だから起こったとは言えない。実機条件でも自発的水蒸気爆発は起こり得ることを原告らは明らかにした。温度問題についての立証責任は被告に移った」であるとか（なお、原告らは、上記「実機条件」の具体的内容

²⁴ 正式には、「実用発電用原子炉に係る発電用原子炉設置者の重大事故の発生及び拡大に必要な措置を実施するために必要な技術的能力に係る審査基準」という。

²⁵ 熔融炉心が原子炉容器底部を貫通し、格納容器下部のコンクリート部に接触した場合に生じる可能性のある「熔融炉心・コンクリート相互作用」現象を指す。なお、MCCIとは、「Molten Core Concrete Interaction」の略である。

について、被告が答えるのが筋であるとして（平成30年6月8日付け原告ら準備書面16）、原告らの主張の根拠であるにもかかわらず、未だに明らかにしていない）、原告ら準備書面15の20頁において、「自発的水蒸気爆発は、トロイ実験において、発生している。温度測定に問題はあったが、過熱があった訳ではなかった。・・・被告はトロイ10・12～14の自発的水蒸気爆発が実機では有り得ない高温であったことを主張立証すべきである」（原告ら準備書面15（20頁））などと述べ、あたかも原告ら準備書面15の11頁以下「(2) トロイによる実験とレポートの検討」からすれば、実験ID10, 12, 13, 14の実験結果は、本件3号機においてトリガーを与えなくても自発的な水蒸気爆発が発生する根拠であるかのように主張する。

しかしながら、原告らの主張は、各種のTROIレポートの内容を混同するなど、その前提において誤解がある。

まず、原告ら準備書面15の11頁23行目で述べる「2002年レポート」は、上記第2の4で被告が述べた2002年TROIレポートと同義であり、TROIの実験ID9～14について分析したものであるが、原告ら準備書面15の12頁2行目以下で述べる「2002年レポート」は、原告らが引用している内容からすれば、TROIの実験ID3, 5, 6, 11, 13について分析した全く別のレポート²⁶について述べていると思われる（乙312（351, 353, 354頁））。そして、原告ら

²⁶ Spontaneous Steam Explosions Observed In The Fuel Coolant Interaction Experiments Using Reactor Materials

上記レポート中、実験ID3, 5, 6は溶融物として二酸化ジルコニウム単体を用いており、実験ID11, 13は二酸化ジルコニウムと二酸化ウランの混合溶融物を用いている（乙312（Table2～4））。

準備書面15の12頁「ア 2002年レポート」に引用している「熔融物温度は3100℃以上とされた」という報告内容は、熔融物として二酸化ジルコニウム単体を用いた実験、すなわち、ID3、5、6に関する報告の中で述べられた内容であり、実験ID10、12、13、14についての報告内容ではない。

次に、原告ら準備書面15の12頁「イ 2003年レポート」における原告らの検討では、「トロイ13・14・15の各実験について報告されるとともに、上記熔融物温度「3100℃以上」が修正されたとしているが、先に述べたとおり、原告らが修正前の温度であるとする「3100℃以上」は、実験ID3、5、6に関する温度であり、比較するデータの対象に誤りがある。また、原告らは、「実験温度はトロイ13が3300Kから2600K（2327℃）に修正され、トロイ14の実験温度は3000K（2727℃）」に修正されたとするが、原告らが修正後の温度であるかのように述べる数値（実験ID13では2600K、実験ID14では3000K）は、正しくは、修正前の温度を示す数値であり、レポートの内容を正確に理解していない。

最後に、原告ら準備書面15の13頁「ウ 2007年レポート」において、原告らは、「窓ガラスを通した測定値は1500～2700℃の範囲で較正された」として、あたかも最終的には、実験ID10、12、13、14における熔融物温度が上記数値の範囲内で修正されたかのように主張する。しかしながら、そもそも「2007年レポート」²⁷は、実験ID10、12、13、14についての分析ではなく、実験ID34～37

²⁷ RESULTS OF THE TRIGGERED STEAM EXPLOSIONS FROM THE TROI EXPERIMENT

(いずれもトリガーを与えた実験)について分析されたものであり、この点においても比較するデータの対象に誤りがある。

以上、原告らが、「自発的水蒸気爆発は、トロイ実験において、発生している。温度測定に問題はあったが、過熱があった訳ではなかった。・・・被告はトロイ10・12～14の自発的水蒸気爆発が実機では有り得ない高温であったことを主張立証すべきである」などと主張する根拠である準備書面15の11頁以下「(2) トロイによる実験とレポートの検討」については、参照するレポートに誤りがある上に、比較するデータにも誤りがある。また、温度計測の不確かさの記載に関する検討が不十分であるなど、その前提において誤解がある。

一方で、TROI実験においてトリガーを与えない条件で自発的な水蒸気爆発が生じた実験ID10, 12, 13, 14は、いずれも熔融物の過熱度が実機想定より高い条件下での実験であること、そして、TROIの実験結果等に加えて、COTELS, FARO, KROTOSにおける実験結果等をあわせ考えれば、細粒化した熔融炉心を覆う膜沸騰状態の蒸気膜には安定性があり、実機条件では想定し難い圧力や過熱など、何らかのトリガーがなければ蒸気膜の崩壊は起こりにくいこと、そして、実機においては、熔融炉心が原子炉下部キャビティ水に落下する際、実験で付加したような膜沸騰状態の蒸気膜を不安定化させるトリガーが加わる要素は考えにくいことから、水蒸気爆発に至る可能性は極めて小さいと考えられることは、上記第2で述べたとおりであり、本件3号機において水蒸気爆発が発生する危険性があるかのように述べる原告らの主張は理由がない。

なお、原告らは、原告ら準備書面15の15頁において、「外部トリガーと成り得る現象を想定することは容易である」などとも主張するが、実

機においてトリガーが加わる要素は考えにくいことはこれまでに述べたとおりである。そして、専門性を有することはもとより、国家行政組織法3条2項の規定に基づく、いわゆる3条委員会として高度の独立性が保障されている原子力規制委員会が厳格な審査を行い、本件3号機の審査書案に係るパブリックコメントに対する回答においても、「実機において、水蒸気爆発の発生の可能性が極めて低いことを確認」（乙311（別紙1の63頁））しているのであるから、原告らの主張は、原告ら独自の見解を述べるものに過ぎない。

2 本件3号機の炉心溶融時における原子炉圧力容器への注水について

原告らは、原告ら準備書面15の6頁及び17～18頁において、重大事故等防止技術的能力基準²⁸の要求事項の解釈に、「溶融炉心の原子炉格納容器下部への落下を遅延又は防止するため、原子炉圧力容器へ注水する手順等を整備すること」と定められているにもかかわらず、被告は、この規定を守らず、原子炉圧力容器への注水を行わないことになっていると主張する。

しかしながら、被告は、溶融炉心の原子炉格納容器下部への落下の遅延又は防止のための炉心注水設備として、格納容器スプレイポンプ、代替格納容器スプレイポンプ、充てんポンプなど多様な設備を重大事故等対処設備として整備しており、これら重大事故等対処設備を用いた炉心注水の主な手順等を以下のとおり定めている。

- a. 炉心の著しい損傷が発生した場合、かつ、原子炉へ注水するために必要な燃料取替用水タンクの水位が確保されている場合には、高圧注入

²⁸ 正式には、「実用発電用原子炉に係る発電用原子炉設置者の重大事故の発生及び拡大の防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力に係る審査基準」という。

ポンプ又は余熱除去ポンプによる高圧又は低圧注入ラインを使用した炉心注水を行う。

- b. 高圧注入ポンプ又は余熱除去ポンプの故障等により原子炉への注水が確認できない場合において、原子炉へ注水するために必要な燃料取替用水タンクの水位が確保されている場合には、充てんポンプによる炉心注水を行う。
- c. 高圧注入ポンプ又は余熱除去ポンプの故障等により原子炉への注水が確認できない場合において、原子炉へ注水するために必要な燃料取替用水タンクの水位が確保されている場合には、充てんポンプによる炉心注水と並行して格納容器スプレイポンプ（代替再循環配管²⁹使用）による代替炉心注水を行う。
- d. 格納容器スプレイポンプ（代替再循環配管使用）の故障等により原子炉への注水が確認できない場合において、原子炉へ注水するために必要な燃料取替用水タンクの水位が確保され、代替格納容器スプレイに使用されていない場合には、代替格納容器スプレイポンプによる代替炉心注水を行う。
- e. 全交流動力電源喪失時又は原子炉補機冷却機能喪失時において、原子炉へ注水するために必要な燃料取替用水タンクの水位が確保されている場合には、充てんポンプによる代替炉心注水を行う。

また、上記 a. ～ e. の手順の優先順位について、交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全な場合は、a. , b. , c. , d. の順に、全交

²⁹ 格納容器スプレイ系統と余熱除去系統を繋ぐ配管（タイライン）。代替再循環配管を使用し、原子炉格納容器内の再循環サンプに溜まった冷却水を再循環して炉心注水することで、格納容器スプレイポンプによる継続的な炉心冷却を行うことができる。

流動力電源又は原子炉補機冷却機能が喪失した場合は、e. , d. の順に設定して明確化している。

加えて、多様性拡張設備（バックアップ設備）の位置付けとして、電動消火ポンプ、ディーゼル消火ポンプ、中型ポンプ車、加圧ポンプ車、格納容器スプレイポンプ（自己冷却式）を整備し、炉心注水の手順等を定めている。

そして、原子力規制委員会は、被告が整備した設備及び手順等が、設置許可基準規則³⁰51条、重大事故等防止技術的能力基準1.8項及び重大事故等防止技術的能力基準1.8項の解釈1(2)a)における規制要求に適合するものと判断し、重大事故等への対処が確実に実施される方針であることを確認しているのであるから、原告らの主張は理由がない。（以上、乙16（334～344頁））

3 本件3号機におけるコアキャッチャーの設置について

原告らは、原告ら準備書面15の19～20頁において、MCCI対策として、「コアキャッチャーの設置は今や世界の趨勢と言ってよい」と述べた上で、MCCI対策として「採用されたのはコアキャッチャーではなく、水蒸気爆発の恐れがある「溶融炉心を水プールに落とす」という極めて荒っぽい方法であった。要するに、安全を無視して安価で簡単なMCCI対策が採用された」と述べ、本件3号機にコアキャッチャーが設置されていないことを批判する。

この点、新規制基準はMCCI対策として、「発電用原子炉施設は、重大事故が発生した場合において、原子炉格納容器の破損及び工場等外への

³⁰ 正式には、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」という。

放射性物質の異常な水準の放出を防止するために必要な措置を講じたものでなければならない。」（設置許可基準規則 37 条 2 項）とした上で、重大事故が発生した場合、「熔融炉心による侵食によって、原子炉格納容器の構造部材の支持機能が喪失しないこと及び熔融炉心が適切に冷却されること」（設置許可基準規則解釈 37 条 2 - 3 (i)）を要求している。

そして、重大事故等防止技術的能力基準 1. 8 項の解釈 1 (1) a) では、MCCI を抑制することを目的とした原子炉格納容器下部に落下した熔融炉心の冷却に必要な対策として、「炉心の著しい損傷が発生した場合において、原子炉格納容器下部注水設備により、原子炉格納容器の破損を防止するために必要な手順等を整備すること。」が求められている。

また、原子力規制委員会は、本件 3 号機の審査書案に係るパブリックコメントに対する回答において、「安全系 4 系統、コアキャッチャー、二重格納容器を新規制基準では要求しておらず不十分である。」との意見に対して、「新規制基準においては、個別の機器の設置を求めるのではなく、炉心熔融防止対策や格納容器破損防止対策等のために必要な機能を求めています。規制基準は、満足すべき性能水準を要求し、それを実現する「技術」は指定しないのが国際的にみても一般的な考え方です。規制要求を満たすのであれば、ご指摘の設備に限らず、他の方法でも問題ありません。なお、ご指摘の欧州の技術は、現在建設中の原子炉に限られたものであり、欧州でも既設の原子炉に対してご指摘のあった技術の導入を義務付けられた例はありません。」としている（乙 3 1 1（別紙 2 の 9 頁））。

しかるところ、新規制基準は、原告らが主張するコアキャッチャーのような個別の「機器」の設置を要求するのではなく、炉心の熔融や格納容器の破損を防止するなどのために必要な「機能」を要求しており、規制の要

求を満たす方法であれば、特定の設備によらずとも規制の要求を満たすことを可能とする趣旨なのであり、それに対して被告は、重大事故等により溶融し、原子炉格納容器の下部に落下した炉心を冷却するために必要な設備（格納容器スプレイポンプ及び代替格納容器スプレイポンプ等）を整備し、原子炉格納容器下部への注水の手順等を定め、重大事故等への対処を確実に実施することとしており、注水した冷却水は原子炉格納容器下部へ流入して溜まり、原子炉格納容器下部に落下した溶融炉心を冷却するという方法をとることとしている（乙16（334～344頁））。

そして、原子力規制委員会は、被告による上記の対応により、原子炉下部キャビティ床面に有意な侵食は発生せず、原子炉下部キャビティに落下した溶融炉心及び原子炉格納容器の安定状態を維持できること、すなわち、各種の原子炉格納容器下部への注水手段が、MCCIに対して有効であることを確認しており（乙13（10-7-2-170～10-7-2-172頁））、また、この方法により、本件3号機において水蒸気爆発が発生する可能性は極めて小さいと考えられることは上記第2及び第3の1で述べたとおりなのであるから、原告らの批判は当を得ない。

第4 まとめ

原子力発電所において、放射性物質が環境に大量に放出される危険性を顕在化させないためには、何らかの異常が発生した場合であっても、放射性物質を閉じ込める障壁の機能を維持することが必要である。被告は、本件3号機において五重の障壁による閉じ込め機能を維持し、異常が発生した場合に、原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」という事故防止に係る安全確保対策を講じている。そして、この安全確保対策に用いる安全上重要な設備については、安全機能を喪失しないよう耐

震安全性を備えるとともに、多重性又は多様性及び独立性を有する設備とするなど、様々な保守性を確保し高い信頼性を持たせている。

さらには、福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、地震、津波等の自然的立地条件に対して、より余裕を持たせた評価を行い、併せて、安全上重要な設備の信頼性を強化（設計基準上の対策を強化）し、原子力発電所の安全性を確保している。

加えて、安全確保対策が機能しない場合のことも考慮して、深層防護の観点からも有効と考えられる重大事故等対策を講じ、仮に重大事故等が発生した場合においても、放射性物質が環境に異常に放出されるような事態を防止することができるよう対策を講じている。

上記で述べた各種の対策が機能せず、本件3号機において水蒸気爆発等の前提となる重大事故等に至る危険性はなく、ましてや、放射性物質が環境に異常に放出されるような事態に至る危険性はない。また、被告は、各種の実験結果等から、実機において、水蒸気爆発に至る可能性は極めて小さいと評価しており、本件3号機において水蒸気爆発が発生する危険性があるかのように述べる原告らの主張は理由がない。

以上