

平成28年(ワ)第289号、同第902号、平成29年(ワ)第447号、
同第1281号、平成30年(ワ)第1291号

原告ら [REDACTED] 外









被告 四国電力株式会社

準備書面42

(水蒸気爆発：要約版)

2022年 1月12日

広島地方裁判所 民事第2部 御 中

原告ら訴訟代理人弁護士	能 勢 顯 男	
同 弁護士	胡 田 敢	
同 弁護士	前 川 哲 明	
同 弁護士	竹 森 雅 泰	
同 弁護士	松 岡 幸 輝	
同 弁護士	橋 本 貴 司	
同 弁護士	村 上 朋 矢	
同 弁護士	河 合 弘 之	

外

水蒸気爆発については、従来、準備書面15・16・24・28・32で述べてきたが、本書面はこれを要約したものである。

第1. はじめに

原子炉における水蒸気爆発は極めて危険な現象である。OECDはこの危険と正面から向き合い、セレンプロジェクトを実施した。我国からも二つの研究機関がこれに参加した。その成果はセレンレポートとして発表されている。

にもかかわらず、規制委員会はこれを検討しないまま、被告の3号炉設置変更を許可した(甲E14、乙16)。この判断は、当然考慮すべき最新の知見を無視するものであり、最判平成4年10月29日に反する。

これが原告の主張である。水蒸気爆発の発生確率やその破壊力の危険性を直接論じるものではない。

第2. 水蒸気爆発

1. 水蒸気爆発発生の機序と危険性(甲E1。原告準書15p1～)

水蒸気爆発とは高温の熔融物と接した水が瞬時に気化する物理現象である。この急激な蒸発により、体積は数十分の1秒程度の間にも1600倍にもなる。古くから金属工場等の爆発事故原因の上位を占め恐れられてきた。(甲E18・19)。

熔融核燃料もまた、水と接触することで水蒸気爆発を起こす危険を持っている。

2. 新規制基準と水蒸気爆発(原告準書32)

福島第1原発事故では、メルトスルーの結果、コア・コンクリート反応(MCCI)が起り水素爆発に至った。そこで、新規制基準ではMCCI対策として、原子炉下部に水を張ることとした。この安価で安易な方法は、逆に水蒸気爆発の危険を生じさせた(5号規則51条及び同規則の解釈51条)。要するに、起きる可能性の高いMCCIを避ける為、起こらないかもしれない水蒸気爆発の危険を選択したのである。有り得ない考え方である(この点では、新規制基準それ自体が合理性を欠く)。

IAEAは「格納容器の障壁性に損傷を与えかねない水蒸気爆発を排除するため

に望まれる方法は、如何なる想定事故シナリオにおいても、溶融炉心の水中落下を避けることである」と述べたうえで、「炉心溶融物が水中に落下するシナリオの場合、水蒸気爆発による格納容器の健全性に対するリスクが事実上排除されていることが証明されなければならない」と警鐘を鳴らしている（甲E23の2）。

なお、水蒸気爆発を避ける方法はコアキャッチャーなど他にあるが、我国電力会社は経費の掛るこの方法はまったく考慮していない。

第3. セレナプロジェクト

1. 経済開発協力機構（OECD）とセレナプロジェクトの開始

OECDは先進35ヶ国で構成され、原子力部門を持つ。言うまでも無く原発利用の増進を目指す組織である。そのOECDが安全性に不安があるとしてセレナプロジェクトを実施した。

プロジェクト実施の契機は「原子力安全研究および事業に関する上級専門グループがFCI（水蒸気爆発）に関する一部の観点で不確かさが存在しているにもかかわらず、世界的にFCI研究が軽視される傾向について表明した懸念」であり、その目的は「FCIのエネルギーレベルについての理解と予見範囲とをリスク管理上望ましいレベルにするために、FCIの機序とエネルギーレベルについての理解内容と実炉条件における荷重の規模を見積る十分に信頼性を持つ手法のそれぞれの集束を目指すもの」と述べられている（甲E10の2p4、同11の2p5）。

上級専門グループはファロ、クロトス、コテルスの実験結果を見て、上記懸念を表明したものであることは銘記されなければならない。

2. セレナプロジェクトで得られた知見

(1) フェーズ1で得られた知見

フェーズ1で得られた知見は、「圧力容器外の事例で予測される衝撃力は総てが20と100kPa・sの範囲内であった。数十kPa・sオーダーの荷重は格納空間に何らかの損傷を与え、それによって格納容器の健全性を脅かす可能性があると考えられる」（甲E11の2p7）、さらに「圧力容器外の水蒸気爆発では、・・・代表的格納容器壁の耐荷重を上回っていた」（同p8）というものであ

った。

JAEA-Research (甲E13p36) では、ベースのケースの力積が $2.95 \text{ MN} \cdot \text{s}$ とあるところ、これを仮に直径6mの水槽とすると、単位面積当たりの力積は、 $2.59 \div 28.26 \text{ m}^2$ (床面積) $= 0.0916 \text{ MN} \cdot \text{s} / \text{m}^2 = 91.6 \text{ kPa} \cdot \text{s}$ となる。これを上記知見と比較すれば、格納容器の健全性を害する危険性が極め高いことが判る。

(2) 同フェーズ2で得られた知見 (添付一覧票 (甲E12の2) 参照)

フェーズ2においては、溶融物の組成や系の圧力の影響など、不確実なパラメーターの定量化を目的として、トロイとクロトスの設備を使い、各6回合計12回のコリウム溶融物を用いた実験を実施した。実験では8回で水蒸気爆発が、3回で水蒸気スパイク等の事象が発生した (甲E12の2p13)。この結果に基づきシミュレーションコードの能力を評価した。しかしながら、結局のところ $20 \sim 100 \text{ kPa} \cdot \text{s}$ という、最大5倍のバラツキを絞り込むことが出来なかった。

フェーズ2で得られた知見は、「圧力容器外水蒸気爆発荷重の計算による予測荷重は、従来から報告された値よりもバラツキが大きい状態のままである・・・この意味では本事業で圧力容器外の水蒸気爆発に関する課題が決定的解決に至ったとは言えない」 (同p20) というものであった。

3. トリガーの存在

セレナプロジェクトの中で実施された上記12回の実験では、いずれも人為的にトリガーが加えられた。被告はこの点をとらえて「実機においてはトリガーと成り得る要素は無い、従って、水蒸気爆発の発生可能性は無視してよい」と主張する。

しかしながら、外部トリガーと成り得る事象は無数に存在する。

(1) セレナプロジェクトの事業統括者であり欧米における水蒸気爆発に関する第1人者と思われるマガロンはトリガーについて次のとおり述べている (事業統括者である点につき、甲E10の2p7、同11の2p41。マガロンの評価につき、甲E10の2、同11の2における引用論文数。マガロンのものが圧倒的に多い)。

「実機の中で水蒸気爆発が誘発されるか否かを予測することは事実上不可能で

ある・・・どんな溶融燃料と冷却材の混合物でも十分なエネルギーが供給されれば、水蒸気爆発が発生し得る。問題は与えられた系や状況に関してどれだけのエネルギーがあれば十分か、また、実験系の中で水蒸気爆発を発生させるに必要な外部刺激のエネルギーが、原子炉事故での炉心溶融の間に生じる内部事象の中に見出せるかどうかを確かめることである。・・・水蒸気爆発リスクについての現在の研究ではFCIがあれば水蒸気爆発は必ず起きると考える・・・」（原告準備書面15p18。FCIとは高温溶融物と低温液の接触を言う）

マガロンは「十分なエネルギーが供給されれば、それがトリガーになり、水蒸気爆発は起こる」と断言しているのである。

- (2) そもそも、セレナプロジェクトが何故トリガーを掛けて水蒸気爆発の実験をしたかを考えてみればよい。被告が言うように水蒸気爆発の発生確率が無視できるほど小さければ、OECDが世界の研究機関に声をかけ、多額の費用と時間をかけてセレナプロジェクトを実施する必要は無かった。OECDは被告と異なり、水蒸気爆発は起こる、従って、これに対処する必要があるという強い危機感をもっているのである。

被告自身が「フェーズ2の試験においては・・・コリウム溶融物の爆発挙動の明確化と水蒸気爆発による負荷を計算する計算機コードの能力を評価するというセレナプロジェクトの目的からすれば、水蒸気爆発を発生させて検証しなければ意味が無く・・・」（準備書面16p2～3）と述べている。何故、挙動の明確化と計算機コードの能力の評価が必要かと言えば、水蒸気爆発に対し原子炉の安全性を維持するためにほかならない。それ以外には有り得ない。

被告の上主張は、セレナプロジェクトが水蒸気爆発の発生を前提としていることを認めるものに外ならない。

第4. 適合性審査

1. 審査手続きの概略（甲E15～17）

原子炉施設の規制基準適合性審査は、まず、「原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合」によりメーカーからの聴取が行われる。その後、原子力規制委員

会の審査会議で上記聴取の結果を受け適合性の有無が判断されるようである。

2. 水蒸気爆発に関する審査

(1) 本件審査とセテナプロジェクトの時間的關係（甲E10～12）

上記の時間的關係は別紙のとおりである。審査において全てのレポートを検討することは可能であった。また、日本は当初からJAERI（日本原子力研究所）とエネルギー総合工学研究所原子力工学センターの二つの研究機関が参加し、セテナプロジェクトの成果は、我国原子力関係者の中で共有されていた。

(2) 本件審査過程における水蒸気爆発の扱い（甲E14）。

水蒸気爆発について、規制委員会が被告に対して説明を求めたのは次の2点だけであった。

A：水蒸気爆発が実機において発生する可能性

被告は過去の大規模実験（実験名コテルス、ファロ、クロトス）において、人為的にトリガーを掛けたものしか水蒸気爆発は発生しなかった、実機においてはトリガーとなるものは無いと説明し、規制委員会はこれで納得した。

B：JASUMINEコードと格納容器破損確率

上記による破損確率について、被告は「水蒸気爆発の規模が最も大きくなる時刻に液-液直接接触が生じるような外乱を与え、水蒸気爆発を誘導している・・・流体の運動エネルギーを大きく評価している」と説明し、規制委員会はこれに納得した。

勿論、規制委員会は、セテナプロジェクトがコテルス、ファロ、クロトスの3実験に不十分な点があるが故に実施されたことを知っている。また、安全対策が最大規模の水蒸気爆発を前提にすべきことも判っているはずであるが。

規制委員会の当時の担当委員であり現在の委員長である更田は、平成25年8月15日に行われた九州電力との審査会合で、「キャピティーに水を張るというのは・・・一方で水蒸気爆発はもう起きないという決心が無いと・・・水を張り難いですよね」「解析では起きていない。それはMAAPのモデル次第の話であって、・・・躊躇なくキャピティーに水を張るといふ方向で行くのか・・・」と強い

躊躇いを漏らしている（甲E 6。準備書面15 p 10）。

(3) 審査とセレナプロジェクト

上記審査会合及び審査会議において、水蒸気爆発に関する聴取及び審査自体が極めて少ない中、セレナプロジェクトの成果が検討されることは無かった。

3. 被告の反論に対し

セレナプロジェクトについて、被告は、令和元年11月29日付回答書で、審査書案に寄せられたパブリックコメントに対する回答で触れている（甲E 22の1・2）、だから実質的には検討されていると主張する。

しかし、被告は「実質的な検討」が何時の審査会合及び審査会議で、どのように為されたかについては一言も述べていない。パブリックコメントに対して回答したからと言って真面目に検討したことにはならない。

第5. まとめ

セレナレポート2017は「(2) 総てではないにしても、ほとんどの国では、主に不確実性が解決していないため、圧力容器外での水蒸気爆発を考慮することは、未解決の問題のままである（原文は、(2) in most countries, if not all, the consideration of ex-vessel steam explosion remains an open issue, mainly due to unresolved uncertainties)」(甲E 21の1・2)と総括している。それ故に多くの国が水没冷却方式などという安価で安直で危険極まりない方法を採用することなく、高価ではあるが安全性の高いコアキャッチャー等の採用を目指しているのである。

最新の世界的知見と言うべきセレナプロジェクトの成果を検討することなく出された本件許可は、その審査において不合理であり、伊方原子力発電所3号炉の安全を保障するものではない。

以上

Table 2 SERENA フェーズ 2 における KROTOS および TROI による主要な実験結果 (* 高速度測定 of 失敗)

試験 ID	TS-1	TS-2	TS-3	TS-4	TS-5	TS-6	KS-1	KS-2	KS-3	KS-4	KS-5	KS-6
放出溶融物質量 (kg)	15.4	12.5	15.9	14.3	17.9	9.3	2.4	3.9	0.8	2.3	1.7	1.7
溶融物温度 (K)	~3000	3063	3107	3011	2940	2910	2969	3049	2850	2958	2864	2853
溶融物過熱 (K)	145	228	272	171	140	239	109	189	-	38	64	182
溶融物成分 (質量%) UO ₂ - ZrO ₂	73.4/26.6	68.0/32.0	71.0/29.0	81.0/19.0	76.0/18.3	73.3/18.5	70.0/30.0	70.0/30.0	70.0/30.0	80.0/20.0	80.1/11.4	73.0/20.4
Zr					5.0						8.5	
U					0.7							
Fe ₂ O ₃					4.9							4.1
FP					3.3							2.5
水深 (m)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
水温 (K)	301	334	331	333	337	338	302	333	332	332	327	340
サブクール (K)	115.9	61.7	65.1	64.0	57.7	56.9	118	60	-	62	67	54
系圧力 (MPa)	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	-	0.2	0.2	0.2
落下高 (m)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	-	0.8	0.8	0.8
ジェット直径 (mm)	50	50	50	50	50	50	15	10	30	30	30	30
放出後トリガ一時刻 (ms)	939	875	.875**	1040	1046	1050	931	922	-	851	1127	1542
トリガ一時溶融物 先端位置 (m)	~0.3	~0.4	~0.4	~0.4	~0.1	~0.4	0.5	0.0	-	0.0	0.0	0.0
トリガ一時ポイド (容積 %)	~4	~3	~2	14-24	12-34	4-10	6.7	27	1	6	16	12
最大圧力 (MPa)	17	10	12	20	7	25	34.7	23.3	-	44.7	-*	9.4
衝撃力 (N·s)	6640	>8000	~9000	>>9000	4680	>>9000	584	743	-	898	-*	~0
水蒸気爆発 <S/E>	S/E	S/E	S/E	S/E	水蒸気 スパイク	S/E	S/E	S/E	-	S/E	大エネル ギー事象*	Located S/E
転換比 (%)	0.12	0.28	0.22	0.35	0.06	0.66	0.10	0.08	-	0.18	-	~0

<** 記注: 他の試験結果とは 3 桁異なる。>

<セレナプロジェクトと本件3号炉の審査及び許可の時間的關係>

2002年 1月	セレナプロジェクト開始 (H14)
2002年12月13日	セレナレポート1発表 (H14)
2007年 9月17日	セレナレポート2発表 (H19)
2013年 7月 8日	本件許可申請 (H25)
2015年 2月16日	セレナレポート3発表 (H27)
2015年 7月15日	本件許可 (H27)
2018年 3月30日	セレナレポート4発表 (H30)

* 被告が「水蒸気爆発は発生しない」と主張する根拠として挙げるコテルス、ファロ、クロトスの各実験の実施時期は、いずれも2000年以前である。