

平成24年(ワ)第430号 川内原発差止等請求事件
平成24年(ワ)第811号 川内原発差止等請求事件
平成25年(ワ)第180号 川内原発差止等請求事件
平成25年(ワ)第521号 川内原発差止等請求事件
平成26年(ワ)第163号 川内原発差止等請求事件
平成26年(ワ)第605号 川内原発差止等請求事件
平成27年(ワ)第638号 川内原発差止等請求事件
平成27年(ワ)第847号 川内原発差止等請求事件
平成28年(ワ)第456号 川内原発差止等請求事件
平成29年(ワ)第402号 川内原発差止等請求事件
平成30年(ワ)第562号 川内原発差止等請求事件

原告ら準備書面74

—被告九州電力準備書面19への反論— (水素爆発と水蒸気爆発の危険性)

2019(令和元)年12月12日

鹿児島地方裁判所民事1部合議係 御中

原告ら訴訟代理人弁護士	森	雅	美	
同	板	井	優	
同	後	藤	好	
同	白	鳥	努	
			外	

第1 はじめに（本準備書面の内容）

- 1 本準備書面では、被告九州電力の令和元年5月31日付準備書面19（安全確保対策）に対する反論を行う。
- 2 具体的には、被告九州電力の準備書面19は、「第3 本件原子力発電所における水素爆発の発生可能性」と、「第4 本件原子力発電所における水蒸気爆発の発生可能性」とが主たる部分であることから、まず、下記第2において、滝谷紘一氏（以下「滝谷氏」という。）の2019年12月6日付意見書（甲B301）、原子力規制委員会のNTEC-2014-2001 NRA 技術報告「格納容器破損防止対策の有効性評価に係る重要事象の分析（PWR）」（甲B302）及び国際原子力機関 IAEA の安全報告書シリーズ（IAEA Safety Reports Series）No.56.pp.90-91（甲B303）に基づいて、水素爆発の可能性についての反論を行う。
- 3 次に、下記第3において、高島武雄氏（以下「高島氏」という。）の2019年12月9日付意見書（甲B304）及び熔融シリコンの水蒸気爆発に関する研究（甲B305）に基づいて、水蒸気爆発の可能性についての反論を行うこととする。
- 4 語句の訂正（水素濃度に関する「%」を「vol%」に訂正）

水素爆発の可能性に関する原告ら準備書面28、同54及び同57において、水素濃度の比率を「%」と表記していた箇所は、すべて、「vol%」に訂正する。その理由は次の通り。

ここでの「vol」は「volume」（体積）の略号である。

混合気体（幾つかの種類の気体が混じりあった気体）について、そのうちの一つの種類の割合を示す場合には、体積に注目した比率と重量に注目した比率の2種類があり、両者でその値が違ってくるが、水素爆発の可能性に関しては、設置許可基準規則の解釈第37条2-4の規定に「『(略)水素の爆轟を防止すること』とは、以下の要件を満たすこと」として、「(a)原子炉格納容器内の水素濃度がドライ条件に換算して1.3 vol%以下又は酸素濃度が5 vol%以下であること」とあるからである。

なお、同規定にある「ドライ条件に換算」とは、混合気体中に存在する水蒸気は冷えて水に凝縮した状態、すなわち、水蒸気の存在は無視した条件のもとでの水素濃度の算定を意味している。

水蒸気の存在を無視することから、水素濃度は実際よりも高い目に算出されることになる。また、格納容器内の水素以外の気体としては、空気（窒素と酸素）がある。

第2 水素爆発の可能性についての反論

1 被告九州電力の準備書面19・14頁の5(1)への反論

(1) 被告九州電力の主張

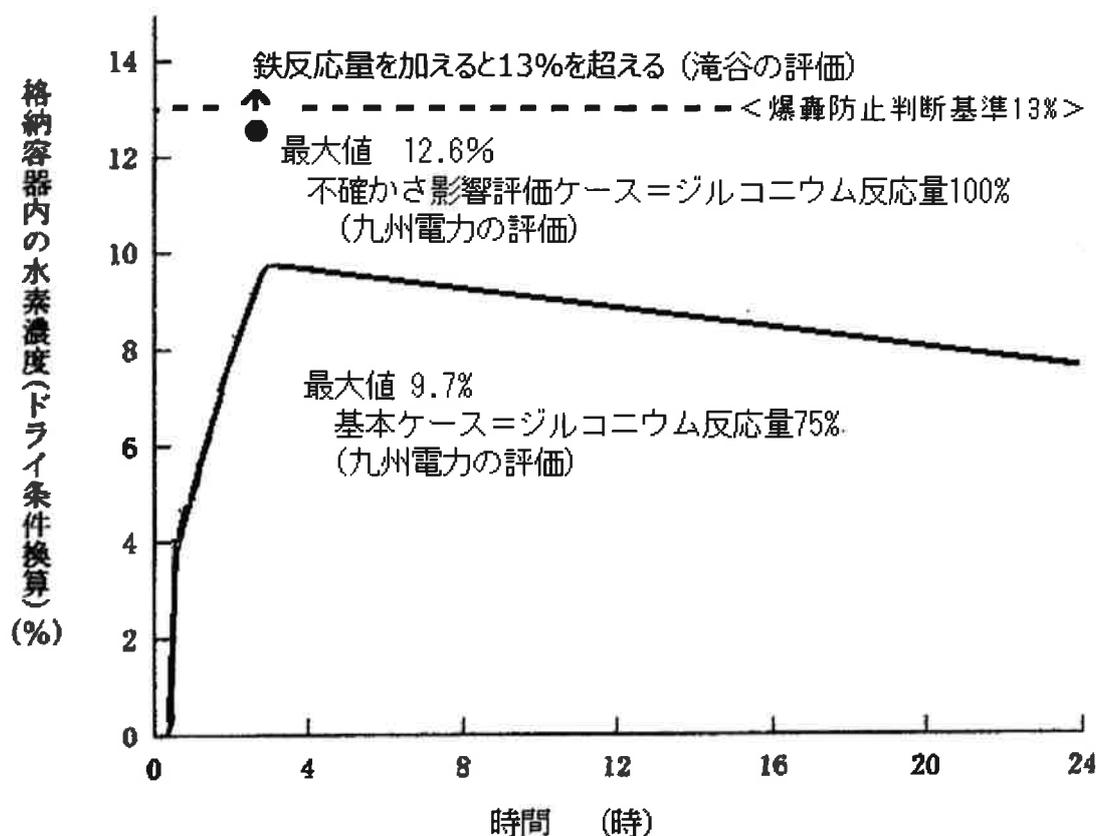
被告九州電力は、「原告らは、原告ら準備書面54・13～24頁において、被告九州電力の水素爆発の評価においてジルコニウム以外の金属と水の反応による水素発生量を考慮に入れていない旨主張する。しかしながら、前述(8～14頁)のとおり被告九州電力は、水素発生源として、ジルコニウム以外の金属等も考慮した上で、安全側に水素濃度評価を実施しており、水素爆発(爆轟)が発生する可能性はなく、原告らの主張には理由がない。」(準備書面19・14頁)と主張する。

(2) 被告九州電力は、「炉心内のジルコニウム-水反応」に加えて、炉内及び溶融炉心が流出した後の炉外での「鉄-水反応」をも考慮すれば、格納容器内の平均水素濃度の最大値は爆轟防止判断基準の13 vol%を超えてしまうという原告らの最も重要な主張に対して全く答えていないこと

しかし、被告九州電力は、準備書面19において、水素爆発の危険性に関する原告らの最も重要な主張に対して、全く答えていない。

即ち、原告らは、準備書面54・15頁以下の「6」において、①被告九州電力は、原子力規制委員会が定める「実用発電用原子炉に係る炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策の有効性評価に関する審査ガイド」の「3.2.3(4)水素燃焼」が要求している主要解析条件の(b)である「原子炉圧力容器の下部の破損後は、溶融炉心・コンクリート相互作用による可燃性ガス及びその他の非凝縮性ガス等の発生を考慮する」という点を全く考慮していないこと、②被告九州電力が考慮した「炉心内のジルコニウム-水反応」(主要解析条件の(a))に加えて、炉内及び溶融炉心が流出した後の炉外での「鉄-水反応」(主要解析条件の(b))をも考慮すれば、「格納容器内の平均水素濃度の最大値は爆轟防止判断基準の13 vol%を超えてしまう」ということを、滝谷氏の意見書(甲B149)をふまえて指摘した(次頁の図5は、甲B149・p20からの引用であるが、図5の中の「%」はすべて「vol%」に訂正する。)

図5 格納容器内水素濃度の時間変化（基本解析）と不確かさ考慮解析の最大値



それにもかかわらず、被告九州電力は、原告らの主張に対する反論を行うはずの準備書面19においても、上記①、②の点に対しては全く言及しないまま、「水素発生源として、ジルコニウム以外の金属等も考慮した上で、安全側に水素濃度評価を実施しており、水素爆発（爆轟）が発生する可能性はなく、原告らの主張には理由がない。」（準備書面19・14頁。下線は原告ら訴訟代理人）と結論しており、極めて不当である。

なお、被告九州電力が「ジルコニウム以外の金属等も考慮した」と述べているのは、水の放射線分解、原子炉格納容器内の金属腐食、熔融炉心・コンクリート相互作用を指しており（被告九州電力準備書面19・9頁～10頁）、原告らが問題としている原子炉内外での『鉄－水反応』による水素発生量は考慮されていない（甲B301・3頁。この点に関しては、後記(4)イで具体的に述べる。）。

そこで、本準備書面では、滝谷氏の2019年12月6日付意見書（甲B301）等に基づき、被告九州電力の準備書面19に対する反論を行う。

- (3) 鉄は、制御棒被覆管のステンレス鋼と炉内構造物（下部炉心支持板、下部炉心支持柱、炉心バップル他）の低合金鋼の各主成分として、原子炉内に大量に存在すること

ア 前提事実の確認

MCCI（溶融炉心・コンクリート相互作用）により発生する水素量の評価に大きな不確かさがあることについては、1980年代から日本の過酷事故対策の研究開発の中核になっていた（財）原子力発電技術機構による事業報告書（甲B150の「2.2-4」）の中に、「炉外における溶融炉心-コンクリート反応や、ジルコニウム以外の金属の酸化も重要である。溶融炉心-コンクリート反応が終息せずに継続した場合には、ほかの金属の反応も含めて全炉心ジルコニウムの100%を超える量が反応することもあり得る。」と明記されている。

しかも、このことは、米国規制委員会資料（U.S.NRC : Perspectives on Reactor Safety (NUREG/CR-6042, SAND93-0971, Revision 2), March 2002) のMCCI 関連箇所にある、「原子炉下部キャビティ内の溶融炉心には、原子炉圧力容器、格納容器ライナー板、コンクリートの鉄筋、その他の大量の鋼鉄が含まれているかもしれない。その結果として、溶融炉心-コンクリート反応によって発生する可燃性ガスの総量は、存在するジルコニウム100%の酸化によって生じる量を超えることがありうる。」との記述と符合している（甲B149・p11）。

即ち、炉心全体にわたり燃料溶融（二酸化ウラン燃料の融点は約2800℃）が起きるような高温状態では、制御棒と炉内構造物（鋼鉄の融点1400~1500℃）も溶けて溶融燃料と混じりあって、溶融炉心を形成するが、この溶融炉心が原子炉圧力容器内及び原子炉圧力容器外で水と接すると、その中に含まれているジルコニウムと同様に、鉄が酸化されて水素を発生する。

従って、これらの知見を踏まえると、被告九州電力の不確かさ評価は、MCCIにより発生する水素量に関して、ジルコニウム以外の金属のうち、溶融炉心中に大量に存在する鉄を無視しており、不十分な非安全側の評価なのである（原告ら準備書面54・20頁以下参照）。

イ 「鉄-水反応」により水素濃度が13vol%に達する鉄の重量の算出

原告ら準備書面54で言及した滝谷氏の算定（甲B149・24頁の付録2参照）によれば、次頁の表にあるように、炉心内の全ジルコニウム量（20、200kg）に加えて、鉄が約590kg反応すると、水素濃度は、被告九州電力が最大値とする12.6vol%（被告九州電力準備書面19・14頁）よりも増えて、13vol%に達する。

「鉄－水反応」により水素濃度が13vol%に達する鉄の重量の算出

- ・炉心内の全ジルコニウム(20、200kg)の反応による水素発生量： 893kg
- ・この場合の水素濃度： 12.6vol%
- ・水素濃度が12.6vol%から13vol%に増加するに要する追加の水素量は、
$$893 \cdot (13 - 12.6) / 12.6 = 28.3$$
$$\Rightarrow \text{約 } 28\text{kg (14kmol)}$$
- ・これに相応する鉄の量は、鉄－水反応式 $3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2$ 及び鉄の分子量55.8 (kg/kmol)より、
$$55.8 \cdot (14 \cdot 3/4) = 586$$
$$\Rightarrow \text{約 } 590\text{kg}$$

ウ 制御棒被覆管のステンレス鋼(約510kg)に加え、炉内構造物の鉄の存在量も考慮すると、水と反応する可能性のある鉄の量は590kgを大幅に超えること

次に、下記の表を見れば分かるように、制御棒被覆管のステンレス鋼だけでも全重量は約510kgある。

これに加えて、炉内構造物の鉄の存在量も考慮すると、水と反応する可能性のある鉄の量が590kgを大幅に超えることは明らかである(甲B149・p24の付録3参照)。

制御棒被覆管ステンレス鋼の重量の算出

- ・制御棒クラスタ数 N1： 52
- ・制御棒本数 N2： 24本/クラスタ当たり
- ・制御棒被覆管厚さ t： 約0.5mm
材料 ステンレス鋼
- ・制御棒吸収材直径 d： 約8.7mm
- ・制御棒有効長さ L： 約3.6m

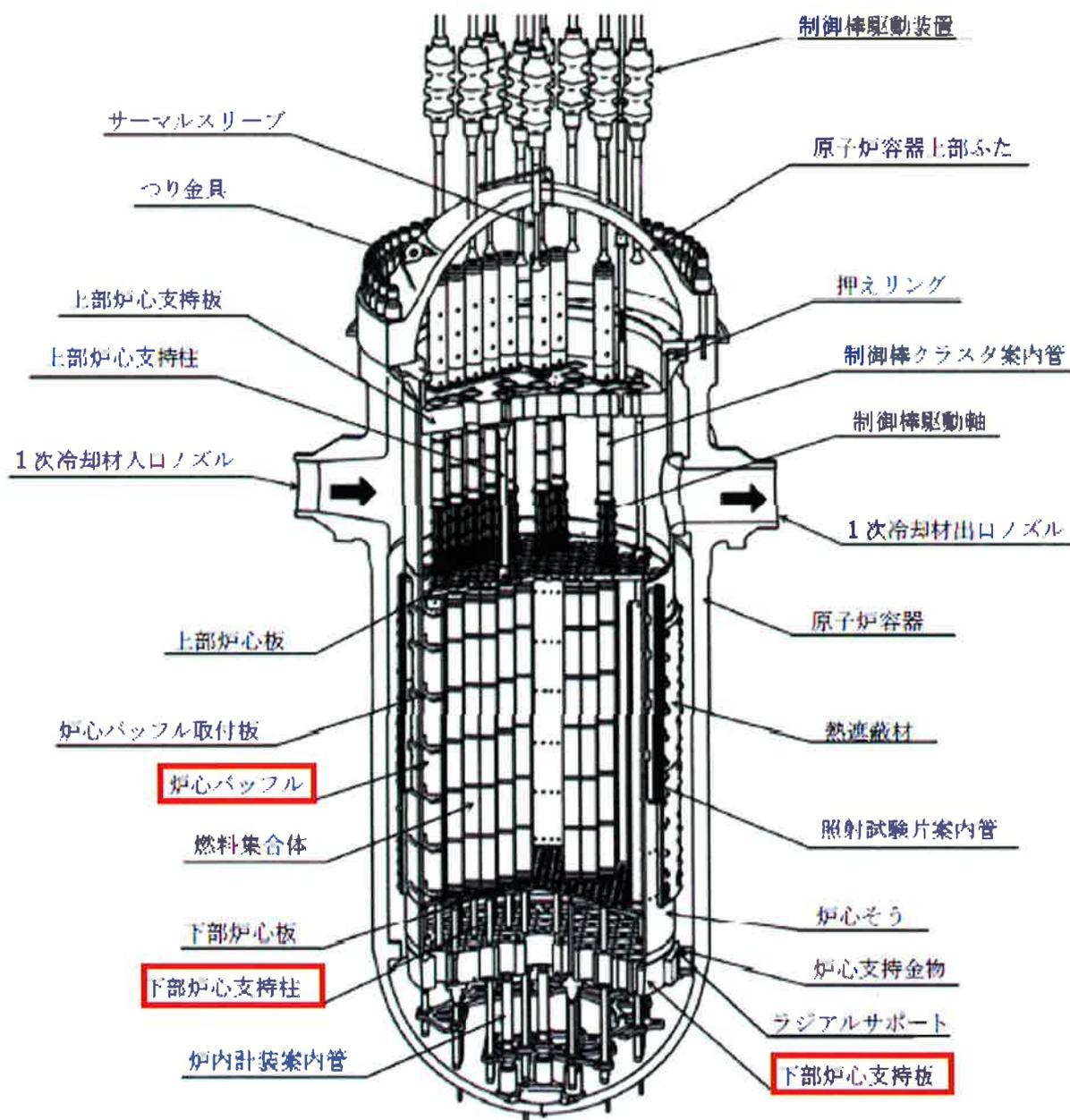
(文献：設置許可申請書)

ステンレス鋼の比重量 γ 7820kg/m³を用いると、制御棒被覆管全重量Wは

$$W = \gamma \cdot \pi / 4 \cdot ((d+2t)^2 - d^2) \cdot L \cdot N1 \cdot N2$$
$$= 7820 \cdot \pi / 4 \cdot (0.0097^2 - 0.0087^2) \cdot 3.6 \cdot 24 \cdot 52$$
$$= 508 \text{ (kg)}$$
$$\Rightarrow \text{約 } 510\text{kg}$$

即ち、ここで注目する鉄は、制御棒被覆管のステンレス鋼（約510 kg）の他に、炉内構造物（下部炉心支持板、下部炉心支持柱、炉心バッフルその他）の低合金鋼の各主成分として、原子炉内に大量に存在している（甲B301・1頁）。

次の図は甲B301・2頁に掲載されている図であるが、赤枠で示されている箇所が、炉内構造物で鉄が主成分となっている「下部炉心支持板」、「下部炉心支持柱」及び「炉心バッフル」という箇所である。



原子炉および炉内構造物構造図

- (4) 「ジルコニウム-水反応」に加えて、「鉄-水反応」による水素発生を考慮すると、格納容器内の平均水素濃度の最大値が13 vol%を超えて、水素爆発（爆轟）が生じる可能性があるとする原告らの主張に対し、被告九州電力は、「鉄-水反応」による水素発生量の評価値を全く示しておらず、反証データを添えた反論ができていないこと（水素爆発の可能性のあること）

ア 被告九州電力も、「鉄-水反応」が生じることを認めていること

ところで、被告九州電力も、実は、「また、炉内構造物についても、炉内構造物が高温となれば、燃料被覆管の場合と同様に水蒸気から酸素が奪われ、水素が発生する。」（被告九州電力準備書面19・9頁の「①水-炉心内の金属反応」の部分）と述べており、「鉄-水反応」が生じることを認めている。

即ち、被告九州電力が述べている「炉内構造物についても、..(中略)..水蒸気から酸素が奪われて水素が発生する」ことを化学反応式で表すと、



炉内構造物の材料主成分の鉄（Fe）と水蒸気（ H_2O ）の接触により、水の分子から酸素が奪われて、水素（ H_2 ）が発生するからである（甲B301・3頁）。

なお、燃料被覆管の場合は、主成分がジルコニウム（Zr）であることから、化学反応式は次の式であり、やはり、水素が発生する。



しかし、それにもかかわらず、被告九州電力は、「鉄-水反応」による水素発生量の値を全く示していない。

- イ 被告九州電力が「ジルコニウム以外の金属等も考慮した」というのは、水の放射線分解、原子炉格納容器内の金属腐食、熔融炉心・コンクリート相互作用を指しており、原子炉内外での「鉄-水反応」による水素発生量は考慮されていないこと

また、新規制基準適合性審査会合に提出された被告九州電力の説明資料を調べたかぎりでも、被告九州電力が、「鉄-水反応」による水素の発生量を定量的に評価して水素の全発生量に含めていることは認められない（甲B301・3頁）。

この点に関して、被告九州電力の準備書面19・14頁の「5 原告らの主張への反論」には、「水素発生源として、ジルコニウム以外の金属等も考慮した上で、安全側に水素濃度評価を実施しており、水素爆発（爆轟）が発生する可能性はなく、原告らの主張には理由がない。」（下

線は原告ら訴訟代理人) という記載があり、「ジルコニウム以外の金属等」として、あたかも「鉄-水反応」による水素発生量をも考慮しているかにみえる。

しかしながら、上記記載(主張)の前提となる被告九州電力の準備書面19の9頁から11頁の「2 炉心が著しく損傷した場合に想定される水素発生源」という箇所をみると、そこで述べられている水素発生源としては、「①水-炉心内の金属反応」(上記ア参照)の他には、

「②水の放射線分解」(同9頁)、

「③原子炉格納容器内の金属腐食」(同10頁)、

「④熔融炉心・コンクリート相互作用(MCCI)」(同10頁)、

だけであり、原告らが問題としている原子炉内外での「鉄-水反応」による水素発生量は全く考慮されていない(甲B301・3頁)。

ウ まとめ(被告九州電力は「鉄-水反応」による水素発生量の評価値を全く示しておらず、反証データを添えた反論ができていないこと)

以上のとおりであることから、「ジルコニウム-水反応」に加えて、「鉄-水反応」による水素発生を考慮すると、格納容器内の平均水素濃度の最大値が爆轟防止判断基準である13vol%を超えてしまい、水素爆発(爆轟)が生じる可能性があるとする原告らの主張に対して、被告九州電力は、「鉄-水反応」による水素発生量の評価値を全く示しておらず、反証データを添えた反論はできていない(甲B301・3頁)。

2 被告九州電力準備書面19・14頁の5(2)への反論

(1) 被告九州電力の主張

次に、被告九州電力は、「原告らは、原告ら準備書面57・87～88頁において、コア・コンクリート反応によるコンクリート侵食量の解析において、不確定性の大きなMAAPだけでなく、MAAP（被告九州電力使用）とMELCOR（原子力規制委員会使用）の両解析コードによる解析結果の厳しい値をとるべきである旨主張する。これに対し、被告九州電力は水素爆発の解析においてMAAPを使用し、MCCIにおける不確かさの考察の中で、MAAPの計算特性を踏まえた検討及び感度解析を実施しており、解析コードの不確かさが評価項目となるパラメータに与える影響を考慮しても、原子炉格納容器の健全性は確保されることを確認している。なお、原告らの主張のとおり、原子力規制委員会は、MELCORによる解析を実施し、その結果、MAAP解析結果と同様の傾向であること、またMAAP解析モデルの不確かさについては実験結果、感度解析等を踏まえていることを確認したうえで、被告九州電力の評価結果が妥当であるとしている。

【乙B3-2（24頁）】 以上のことから、原告らの主張には理由がない。」（準備書面19・14～15頁）と主張する。

この被告九州電力の主張のうち、「水素爆発の解析においてMAAPを使用し、MCCIにおける不確かさの考察の中で、MAAPの計算特性を踏まえた検討及び感度解析を実施しており、解析コードの不確かさが評価項目となるパラメータに与える影響を考慮しても、原子炉格納容器の健全性は確保されることを確認している。」という前半部分を「被告九州電力の主張①」とし、「なお、原告らの主張のとおり」の後にある「原子力規制委員会は、MELCORによる解析を実施し、その結果、MAAP解析結果と同様の傾向であること、またMAAP解析モデルの不確かさについては実験結果、感度解析等を踏まえていることを確認したうえで、被告九州電力の評価結果が妥当であるとしている。」という後半部分を「被告九州電力の主張②」とした上で、以下、被告九州電力の主張①と同②に分けて、それぞれに反論する。

(2) 被告九州電力の主張①に対する反論（被告九州電力が使用するMAAPの計算特性は非安全側にあり、原子炉格納容器の健全性は確保されていないこと）

ア 被告九州電力の主張①の意味内容について

まず、被告九州電力の主張①の中の言葉の意味を確認しておく、MAAPは被告九州電力（などの電力事業者）が使用する解析コードであり、また、MCCIは「熔融炉心・コンクリート相互作用」（熔融デブリ

がコンクリートと反応して、水素や一酸化炭素等のガスを大量に出し、コンクリートを侵食すること）である。

次に、「MAAP の計算特性を踏まえた検討」とは、「解析モデルと解析条件、解析結果として得られる物理量など、MAAP（被告九州電力が使用する解析コード）で取り扱える範囲内に限定した検討」を指しているものと解される。

また、文中の「評価項目となるパラメータ」の具体例としては、コンクリート侵食量があり、被告九州電力は、基準ケースでは侵食量は約 3mm となるのに対し、溶融炉心の床上拡がりより小さいケースでは約 19mm となる評価結果を主張している。

イ MCCI に伴うコンクリート侵食量についての MAAP（被告九州電力使用の解析コード）の計算特性は、それを極端に少なく評価する非安全側にあること

ところで、「水素爆発の解析において MAAP を使用し……原子炉格納容器の健全性は確保されることを確認している。」とする被告九州電力の主張①は誤りである。

即ち、この主張①は、原告らが準備書面 57・87 頁～88 頁において述べた、「電力会社側は、個々のパラメータは保守的に評価しているとしているが、様々な数値の不確定さと共に、想定外の事故シナリオ、例えばコア・コンクリート反応（溶融デブリがコンクリートと反応して水素や一酸化炭素等のガスを大量に出し、コンクリートを侵食する。）や、配管・機器の破損等の不測の事態を考えると、爆轟の発生する水素濃度には、安全余裕はほとんど入っていない（井野博満・滝谷紘一「不確実さに満ちた過酷事故対策－新規規制基準適合性審査はこれでよいのか」[甲 A 195・p 341 の(4)参照]）。コア・コンクリート反応によるコンクリート侵食量を、MAAP（主として電力事業者が使用）という解析コードと、MELCOR（主として規制側が使う）という解析コードとで比較すると、水のあるなし等の影響を含め、両者の解析結果は相当程度のばらつきがあることから、評価する場合、少なくとも両解析コードによる解析結果の厳しい値をとるべきであり、現在 MAAP の解析結果だけを評価に使っているのは安全側の判断ではない（甲 A 195・p 340）。」という主張に対する反論には全くなっていない。

なぜならば、次のウ及びエで述べるように、MCCI（溶融炉心・コンクリート相互作用）に伴うコンクリート侵食量についての MAAP（被告九州電力が使用する解析コード）の計算特性は、その侵食量を極端に少なく評価する側（非安全側）にあるからである。

ウ 更田豊志原子力規制委員長代理(当時)が「解析コードの成熟度が MCCI を取り扱うようなレベルに達しているという判断にはありません」と言明していること (甲 B 3 0 1 ・ 5 頁)

(ア) 被告九州電力が使用する MAAP の計算特性がコンクリート侵食量を極端に少なく評価する、即ち、非安全側の評価をする、ということについては、まず、更田豊志原子力規制委員長代理 (当時。以下「更田委員長代理」という。) の言明から裏付けられる。

即ち、更田委員長代理は、新規制基準適合性審査を経て、川内原発の設置変更許可が出された当時の原子力規制委員会記者会見 (2014年9月24日) において、「MAAP という解析コードの中ではデコンプというモジュールが使われていますけれども、デコンプでは、MCCI というのは、ごくざっくり言うと、始まったら全部止まるというような結果を与えます。一方、NRC が作成した MELCOR という解析コードにはコルコンというモジュールが入っていますけれども、コルコンで解析すると、一旦始まると終わらないという解析結果を与えます。これはシビアアクシデントの解析を行っている技術者、研究者の間では定説ではありますけれども、どちらも両極端の結果を与えるので、実際問題としては、MCCI については工学的判断に基づいて判断を下すのが状況であって、解析コードの成熟度が MCCI を取り扱うようなレベルに達しているという判断にはありません。」と述べている (平成26年9月24日の原子力規制委員会記者会見録。甲 B 3 0 1 ・ 5 頁)。

(イ) まず、更田委員長代理の発言中に出てくる用語を説明しておく、大規模な解析コードでは、異なる物理現象に対応した計算構成部分を作成し、それらをつなぎ合わせて全体を構成するが、その一つの計算構成部分を「モジュール」といい、デコンプ (DECOMP) とは、MCCI (溶融炉心・コンクリート相互作用) の現象を取り扱う計算構成部分につけられた MAAP コード固有の呼び名である。

また、コルコン (CORCON) は、MELCOR コード (原子力規制委員会が使用する解析コード。甲 B 3 0 2 参照) での MCCI を取り扱うモジュールの呼び名である。

NRC は、Nuclear Regulatory Commission の略称であり、米国原子力規制委員会のことである。

(ウ) さらに、更田委員長代理は、「デコンプでは、MCCI というのは、ごくざっくり言うと、始まったら全部止まるというような結果を与えます。」と述べているが、これは、「溶融炉心とコンクリートが接触する

と、溶融炉心によるコンクリートの侵食が始まるが、侵食はどんなケースでも速やかに止まること」を意味している。

次いで、更田委員長代理は、「コルコンで解析すると、一旦始まると終わらないという解析結果を与えます。」と述べた上で、「これはシビアアクシデントの解析を行っている技術者、研究者の間では定説ではありませんけれども、どちらも両極端の結果を与える」と述べている。

これは、MAAP（被告九州電力が使用する解析コード）のデコンプでは、MCCI（溶融炉心・コンクリート相互作用）によるコンクリート侵食については、「始まったら全部止まる」という結果を与えているのに対して、MELCOR（原子力規制委員会が使用する解析コード）のコルコンでは、「一旦始まると終わらない」という、デコンプとは真逆の解析結果を与えていることを捉えて、二つの解析コードによる結果は「両極端の結果」と述べているのである。

(エ) このように、MAAP（被告九州電力が使用する解析コード）のデコンプと、MELCOR（原子力規制委員会が使用する解析コード）のコルコンとで真逆の解析結果を与えていることから、更田委員長代理は、「これはシビアアクシデントの解析を行っている技術者、研究者の間では定説ではありませんけれども、どちらも両極端の結果を与えるので、実際問題としては、MCCIについては工学的判断に基づいて判断を下すのが状況であって、解析コードの成熟度がMCCIを取り扱うようなレベルに達しているという判断にはありません。」と結論づけているのである（下線は原告ら訴訟代理人）。

更田委員長代理は、「どちらも両極端の結果を与えるので、実際問題としては、MCCIについては工学的判断に基づいて判断を下すのが状況」と言っているが、ここに「工学的判断」とは、科学的に明確な判断根拠が得られない場合に、当事者の経験や直感（場合によっては恣意）により判断し、それをもっともらしく装う言辞として使われる言葉であり、端的に言えば、「科学的判断根拠を示すことのできない、いい加減な判断」のことである（ネット検索によれば、建築分野での「工学的判断」の説明として、「工学的判断とは、数値だけでなく経験に基づいた技術的な内容の判断です。建築物の構造設計は、緻密な構造計算を行う一方で、大胆に（悪く言えば大雑把に）物事を決めます。これは、数値だけでは安全性を判断できないとき、これまでの経験や直感に基づいた判断です。」という説明がある。）。

要するに、更田委員長代理が、「どちらも両極端の結果を与えるので、実際問題としては、MCCIについては工学的判断に基づいて判断を下

すのが状況」であると言っているのは、具体的には、「MCCI を解析するための解析コードはまだ技術的には確立していないので、何を使用するかは当事者の経験や直感に任せるしかない」ことを意味している。

その上で、更田委員長代理は、ここでの結論的な発言として、「解析コードの成熟度がMCCIを取り扱うようなレベルに達しているという判断にはありません。」と言っているが、この発言は、要するに、MCCI（溶融炉心・コンクリート相互作用）を解析するための解析コードはまだ技術的には確立しておらず、その解析精度は十分には信頼できない、ということを読めた発言である。

そして、更に言えば、その結論的発言の裏には、原子力規制委員会としては、それでも審査をしなければならず、MCCI（溶融炉心・コンクリート相互作用）の評価もせざるをえないことから、被告九州電力などの電力会社が提唱する MAAP の使用もやむをえないという消極的肯定の意味合いが含意されているものと解される。

エ デコンプを組み込んだ MAAP（被告九州電力使用の解析コード）の計算特性に関する国際原子力機関 IAEA の指摘（甲 B 3 0 3）

次に、国際原子力機関 IAEA の安全報告書シリーズ No. 5 6（IAEA Safety Reports Series No. 56, pp. 90-91 (2008)）は、MCCI（溶融炉心・コンクリート相互作用）を取り扱う解析コードについて、「水中条件に対しては、解析コード予測における違いはさらに大きく驚くほどである。これは解析コード作成者の見解の間にある基本的な相違を反映している。」と述べた上で、MAAP（被告九州電力が使用する解析コード）のデコンプについて、「デコンプ（DECOMP）のようなモデルは他の極端にあり、溶融物を覆った水が溶融物から一定の熱流束で熱を奪うとしている。いったん MCCI により発生する上向きの熱流束がこの一定値より小さくなれば、デブリの冷却が始まる。」（甲 B 3 0 3・91 頁の翻訳部分）と述べており、実際には、溶融物の温度が低下するにつれて、溶融物から水への熱流束は減じていくにもかかわらず、熱流束を一定と仮定するデコンプを組み込んだ MAAP の計算特性は除熱量を実際より大きく評価し、そのために溶融物の温度が急速に下がり続け、コンクリート侵食が早く停止することになるのである（甲 B 3 0 1・5 頁）。

オ まとめ

以上の通り、更田委員長代理が、MAAP（被告九州電力が使用する解析コード）のデコンプと、MELCOR（原子力規制委員会が使用する解析コード）のコルコンが、MCCI（溶融炉心・コンクリート相互作用）について真逆の解析結果を与えていることについて、「これはシビアア

クシデントの解析を行っている技術者、研究者の間では定説ではありませんけれども、どちらも両極端の結果を与えるので、実際問題としては、MCCI については工学的判断に基づいて判断を下すのが状況であって、解析コードの成熟度が MCCI を取り扱うようなレベルに達しているという判断にはありません。」と述べていることに加えて、被告九州電力が使用する MAAP の計算特性は、MCCI (溶融炉心・コンクリート相互作用) に伴うコンクリート侵食量を極端に少なく評価するという非安全側にあり、このような計算特性をもつ解析コードで不確かさに関わるパラメータの感度解析を行っても、その感度解析結果自体がコンクリート侵食量を極端に少なく評価することから、その解析結果は明らかに信頼性を欠いている (甲 B 3 0 1・5 頁)。

そしてまた、定説とされている MAAP の非安全側の計算特性についての原告らの主張 (原告ら準備書面 5 4・1 8～1 9 頁) について、被告九州電力の準備書面 1 9 は全く反論していないことから、被告九州電力も、実は自らが使用する MAAP の非安全側の計算特性を認めている (否定できない) ものと解される (甲 B 3 0 1・5 頁)。

(3) 被告九州電力の主張②に対する反論

ア 原子力規制委員会の NRA 技術報告 (甲 B 3 0 2) は、MELCOR による解析結果を掲載しているだけであり、MAAP との解析結果との比較検討は全くなされていないこと (被告九州電力の主張②の誤り)

(ア) まず、被告九州電力の主張②に出てくる「MELCOR による解析」

とは、原子力規制委員会が、重大事故総合解析コード MELCOR (米国原子力規制委員会が開発したもの) を使用して、重大事故のうちの幾つかのケースについて解析検討したことを指している。

(イ) ところで、原子力規制委員会は、被告九州電力の主張②と同様に、川内原発の審査書案へのパブリックコメントでのクロスチェック解析 (原告ら準備書面 2 9 参照) を求める滝谷氏らの意見に対しても、その意見への「考え方」として、「MELCOR による解析を実施しており、MAAP 解析結果と同様の傾向を確認しています。MELCOR を用いた解析事例は NRA 技術報告 2014-2001 で公開しています」という回答をした。

文中の「NRA 技術報告 2014-2001」とは、原子力規制委員会が作成した「NTEC-2014-2001 NRA 技術報告『格納容器破損防止対策の有効性評価に係る重要事象の分析 (PWR)』」 (甲 B 3 0 2) のことであり、以下「NRA 技術報告」という。

(ウ) しかし、この NRA 技術報告 (甲 B 3 0 2) には、MELCOR による

解析結果が掲載されているだけであり、MAAP との解析結果との比較検討は全くなされていない。

被告九州電力の主張②にある「MAAP 解析結果と同様の傾向であること」は、例えば、事象発生後は系内の圧力が上昇し、その後、影響緩和対策が機能して圧力が下降するといった定性的な傾向が同様であることを意味しているにすぎず、安全上の着目すべき物理量、例えば炉心部最高温度、原子炉容器圧力、原子炉格納容器圧力、原子炉格納容器雰囲気温度などの定量的な比較は全くなされていないのである（甲B302のどこにも、それらに関する記載はない）。

さらに、この NRA 技術報告（甲B302）は、冒頭の「1. はじめに」の部分において、「『原子炉容器外の溶融燃料－冷却材相互作用』及び『MCCI』の格納容器破損モードは、既往の試験結果等に基づく不確かさを勘案した評価を行うことが妥当であることから、本技術報告の検討対象からは除外した。」（甲B302・本文3頁の「2. 2」の末尾部分）と明記しているのであって、MAAP 解析結果との傾向の比較さえなされていない。

(エ) 従って、被告九州電力が、その主張②において、「原子力規制委員会は、MELCOR による解析を実施し、その結果、MAAP 解析結果と同様の傾向であること……を確認した」と述べているのは、明らかに事実に反しており、誤りである。

イ 川内原発で想定される水中条件での MCCI に伴うコンクリート侵食量についての実験は国内外を通じて見当たらず、実験データによる MAAP の検証も行われていないこと（MAAP 解析モデルの不確かさの確認は不十分なものに留まっていること）

次に、被告九州電力の主張②の後半には、「また MAAP 解析モデルの不確かさについては実験結果、感度解析等を踏まえていることを確認したうえで、被告九州電力の評価結果が妥当であるとしている」とある。

しかし、この点についても、川内原発で想定される水中条件での MCCI（溶融炉心・コンクリート相互作用）に伴うコンクリート侵食量についての実験は国内外を通じて見当たらず、従って、実験データによる MAAP の検証も行われていない（甲B301・6頁）。

しかも、MAAP の計算特性は、MCCI（溶融炉心・コンクリート相互作用）に伴うコンクリート侵食量を極端に少なく評価するという非安全側にあり、その感度解析が信頼性を欠くことは上記(2)で述べた通りであることから、被告九州電力が使用する MAAP 解析モデルの不確かさの確認は不十分なものに留まっており、決して妥当なものではない（甲B

301・6頁)。

(4) まとめ

以上の通りであり、被告九州電力の主張①及び同②はいずれも誤りであり、正しくない。

それにもかかわらず、被告九州電力が、「原子力規制委員会は、MELCORによる解析を実施し、その結果、MAAP解析結果と同様の傾向であること、また MAAP 解析モデルの不確かさについては実験結果、感度解析等を踏まえていることを確認したうえで、被告九州電力の評価結果が妥当であるとしている」というように、事実に反する内容を盛り込んだ主張を展開するのは、過酷事故における極めて複雑な物理現象を取り扱う数値解析シミュレーション結果について、規制者によるクロスチェック解析の必要性を訴える原告らの主張（原告ら準備書面29参照）に対して真正面から反論することが出来ていないことの証左である。

第3 水蒸気爆発の可能性についての反論

1 FARO 実験の L-33 の結果の解釈について

- (1) 圧力波が成長しながら伝播するという水蒸気爆発の特徴から、L-33 は水蒸気爆発とみなすべきであるという原告らの主張に対し、被告九州電力はまともに答えていないこと

高島氏は、2018年5月10日付「九州電力の準備書面13の水蒸気爆発に関する記述に対する反論」(甲B218・2頁～4頁)において、FARO 実験の L-33 の結果は、弱いながらも、圧力波が伝播していることを指摘されて、水蒸気爆発と理解すべきであることを説かれ、原告ら準備書面55・5頁以下においても同様の主張をおこなった。

しかるに、被告九州電力は、その準備書面19の23頁において、相変わらず、「FARO 実験の L-33 については、外部トリガーを作用させた試験ケースであり、実機条件と異なることから、水蒸気爆発の発生の可能性は極めて低い」などの的外れな記述に終始しており、圧力波が成長しながら伝播するという水蒸気爆発の特徴から、L-33 は水蒸気爆発とみなすべきであるという原告ら(高島氏)の主張に対して、まともに答えていない。

そこで、以下、原告らの上記主張を補充する。

- (2) 「何らかの強い要因」などなくとも、水蒸気爆発は起こりうること(被告九州電力のトリガーのとらえ方の誤り)

ア 被告九州電力のトリガーのとらえ方は、「水蒸気爆発は蒸気膜を崩壊させるような強い要因、すなわち爆発などの外部トリガーがあつて初めて生じる現象である」(被告準備書面19・17頁。下線は原告ら訴訟代理人)と述べていることから分かるように、「蒸気膜を崩壊させるような強い要因」に限定した非常に狭いものであり、水蒸気爆発は「爆発などの外部トリガーがあつて初めて生じる現象である」としているが、この認識は明らかに誤りである。

即ち、熔融物が水槽底部に到達したときもトリガーとなることは周知の事実であり、「何らかの強い要因」などなくとも、水蒸気爆発は起こりうる(甲B304・1頁)。

イ また、被告九州電力は、準備書面19の19頁以降において、KROTOS 実験についても、あたかも非現実的な強さの外部トリガーを加えなければ、水蒸気爆発は起こらないかのような記述をしている。

しかし、そもそも、KROTOS 実験装置は、1次元系の細長い水路で長さ方向に分散した高温熔融物に下方からトリガーを加えて確実に水蒸気爆発を発生させた場合、熱的デトネーションモデルが起こるか実証することを目的に作られた実験装置である(甲B304・1頁)。

なお、化学的デトネーション(爆轟)は音速を超える火炎面の伝播現象であり、これを支えるのが化学エネルギーであるが、水蒸気爆発で、熱エネルギーによって化学的デトネーションとアナロジーな現象が起こることを、Hall et al.によって提唱されたのが、「熱的デトネーションモデル」である。

2 水蒸気爆発の研究は演繹的に予測できるほど進んではおらず、PULiMS 実験で用いた溶融物が溶融炉心と異なるから、原子炉事故時には層状系での水蒸気爆発は起こらないということはできないこと

(1) 誤解を与える写真の掲載（水蒸気爆発をしなかったときの写真を掲載していること）

被告九州電力の準備書面 19・18 頁は、「第 4 本件原子力発電所における水蒸気爆発の発生可能性」の「2 水蒸気爆発の評価(水蒸気爆発の可能性の評価)」の「(1)水蒸気爆発に係る評価の必要性」において、「堆積した溶融炉心のイメージ」として、図 8 の中に下記の写真を掲載している（この写真を、以下では、図 1 という。）。

しかし、被告九州電力の準備書面 19 には、この図 1 の写真の引用先が掲載されていない。

図 1



堆積した溶融炉心のイメージ

(2) 爆発しなかったときの写真（図 1）を用いることは、爆発が起きてもあたかも穏やかに堆積した溶融物が残るだけの印象・誤解を与えること

図 1 の写真は、スウェーデン王立工科大学(KTH)で行われ、2012年に報告されている Konovalenko et al. の PULiMS 実験における Fig. 4 の左側の写真と解される（下記の図 2。甲 B 3 0 4・2～3 頁）。

なお、PULiMS とは、Pouring and Underwater Liquid Melt Spreading（注入と水面下での溶融金属の拡がり）の頭文字をとったものである。



Fig. 4 Illustration of peripheral gap (marked by arrows) between solidified cake and spreading plate. Fragmented debris is removed after E1 (left) and E5 (right) tests.

図 2 Konovalenko et al. の Fig. 4 の写真

(英文の訳文: 図4 固化した金属と底板の間の周辺ギャップ (矢印でマーク) の図 写真では細粒化した溶融物の破片は、E1 (左) および E5 (右) 試験後に取り除いている.)

即ち、被告九州電力の準備書面19は、この写真 (PULiMS 実験における Fig.4 の左側の写真) を使っているだけであり、この実験に関する記述は一切ない。

しかし、次に述べるように、水蒸気爆発が起きなかったときの写真である前頁の図1の写真だけを示すのでは、爆発が起きてもあたかも穏やかに堆積した溶融物が残るだけのような印象・誤解を与えてしまう。

そこで、このような誤解を避けるために、この PULiMS 実験の結果ついて、高島氏の意見書 (甲B304) に基づき、説明する。

(3) PULiMS 実験の結果について

PULiMS 実験では、層状の水蒸気爆発が自発的に5回の有効な実験のうち、3回発生している (PLiMS 実験では、6回のうち、3回が爆発し、2回は爆発していない。残る1回はデータがない。甲B304・3頁～5頁)。

そして、被告九州電力が使っている図1の写真は、爆発しなかった2回のものである。)

図3 PULiMS 実験の水蒸気爆発

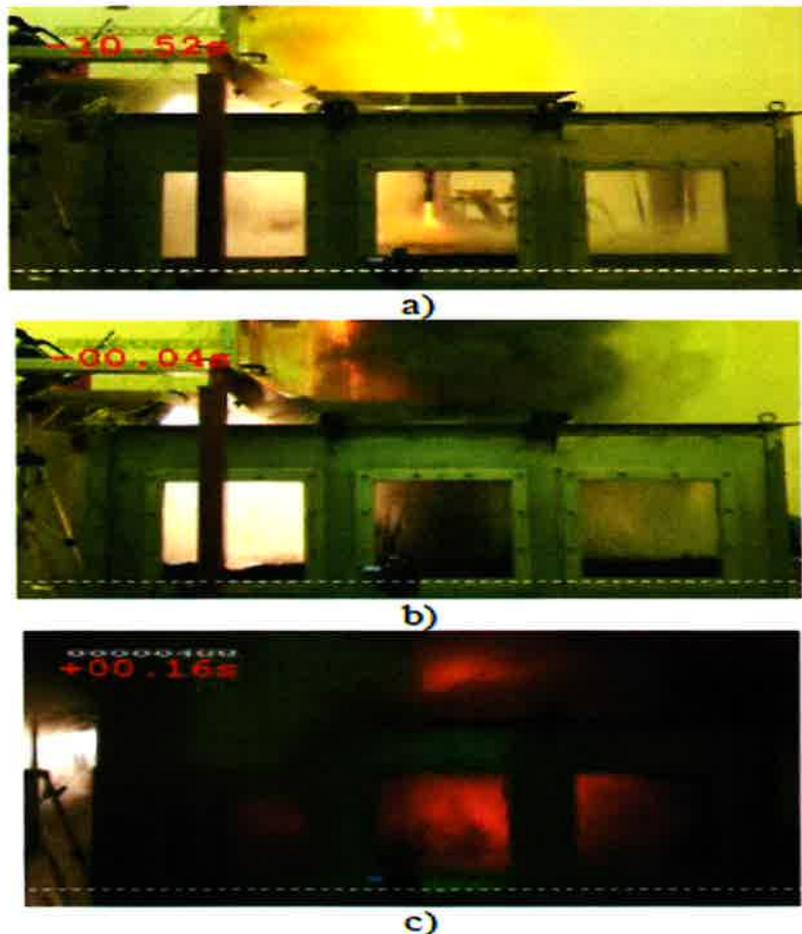


Fig. 6 Melt pouring and steam explosion in PULiMS-E3 test: a) start of melt pouring (-10.52sec), b) coolant instabilities 40ms before explosion, c) 160ms after steam explosion. Dashed lines show a reference position of the PULiMS facility before the explosion.

(訳文：図6 プリムス E3 試験での溶融物の注入と水蒸気爆発 a)溶融物注入時(-10.52秒)、b)爆発40ミリ秒前の水の不安定化、c)水蒸気爆発発生160ミリ秒後。破線は爆発が起こる前のプリムス装置の基準位置を示している。)

前頁の図3の写真は、PULiMS 実験における E3 の結果であり、(a)で溶融物が注がれてから(爆発前10.52秒)、(c)に自発的な水蒸気爆発が発生した過程(爆発発生から0.16sec後)を示したものである。

そもそも、PULiMS 実験は、高温の溶融炉心が水のプールに注入された後に、①どのように広がるか、さらに、②溶融炉心が固化したあと、どのような形状となるか、そして、③堆積層の厚さが予測できるモデルとコードの検証に必要なデータを提供することを目的に行われたものである。

そして、この実験では、2013年時点で6回の結果が報告されているが、そのうちの1回はデータがなかったようであり、6回のうち、3回が爆発し、2回は爆発していない。甲B304・3頁～5頁)。

また、図1と図3の写真を対比すれば分かるように、被告九州電力が準備書面19・18頁に掲載している図1の写真は、爆発しなかった2回のものである。

(4) PULiMS 実験により明らかとなったこと

PULiMS 実験では、水中で溶融物は層状に広がった後、あるいは、投入はじめに爆発が起こって、装置を破壊している。

この実験で観測された水蒸気爆発は、従来の水蒸気爆発の研究からは説明ができない事実がある(甲B301・5頁)。

例えば、

- ① 25 K (ケルビン) 程度の低サブクール水温の状態で、自発的な爆発が発生していること
- ② 浅い水深のプール(わずか20cm)で爆発が起こっていること。
これまでの爆発モデルは、溶融物ジェットから分離した粒子のみが爆発に関与するものとされており、水深が浅いほど爆発規模は小さくなるとされていた。
- ③ 熱エネルギーから機械的エネルギーへの変換率が最大約3%と高いこと。
- ④ 従来、層状系では粗混合に関与できる高温液の量が少ないと考えられていたため、爆発が発生しても、その大きさは小さいと考えられていたこと。

これらの結果は、従来の水蒸気爆発の研究で得られている知見では、説

明できないことである。

即ち、水蒸気爆発の研究は演繹的に予測できるほど進んではおらず、PULiMS 実験で用いた溶融物が、溶融炉心と異なるから、原子炉事故時には、層状系での水蒸気爆発は起こらないということはできないのである（甲B301・5頁）。

このように、従来の水蒸気爆発の研究からは説明ができない事実があることを明らかにした PULiMS 実験の結果も踏まえるならば、なおさらのこと、水蒸気爆発の概念については、上記1(2)で述べたように、被告九州電力のように非常に狭く解するのではなく、より広くとることや、発生条件に関しても、「蒸気膜を崩壊させるような強い要因」などなくても、水蒸気爆発は起こりうることを認めるべきである（甲B301・5頁）。

3 水蒸気爆発が発生する過熱度について

(1) 被告九州電力の主張

被告九州電力は、その準備書面19・22～23頁において、模擬溶融物の過熱度は、389～1189K（ケルビン）であり、いずれも本件原子力発電所で生じるとは考えられない条件下での実験であったと述べて、自発的な水蒸気爆発が観察された TROI 実験の結果は、過熱度が大きいからだと結論付けている。

(2)

しかし、過熱度についても、上記2で述べたことと同様、水蒸気爆発が起こらない範囲が分かっているわけではない。

実際、森山清史らによる「溶融シリコンの水蒸気爆発に関する研究」（甲B305）では、「4 結言」において、「シリコン4kgを加熱溶融して過熱度約200K及び50Kとしたものを、室温の水プール中に落下させる体系で水蒸気爆発実験」を行ったところ、「溶融物の過熱度の違いに依らず、自発的な水蒸気爆発が発生した」という結果を得たと述べており（甲B305・34頁）、過熱度 ΔT_{sat} がわずか45Kでも、溶融シリコンでは激しい自発的な水蒸気爆発が複数回発生することを報告している。

即ち、森山清史らによるこの溶融シリコンによる実験をみても、低過熱度でも激しい水蒸気爆発が起こっているのであって、模擬溶融物の過熱度は、389～1189K（ケルビン）であり、いずれも川内原発で生じるとは考えられない条件下での実験であったと断定する被告九州電力は、この事実・実験結果をどのように説明するつもりであろうか。

被告九州電力が、炉心溶融物と溶融シリコンは違うと主張するのであれば、その合理的・科学的根拠を示すべきである（甲B301・3頁6）。

第4 総括

以上の通りであることから、被告九州電力は、「万一、炉心が著しく損傷した場合を想定し、水素爆発は発生せず、水蒸気爆発の発生の可能性は小さいと評価しており、これらに伴う周辺環境への放射性物質の異常な放出が起こる具体的危険性はない。」（被告九州電力準備書面19・24頁。下線は原

告ら訴訟代理人)と述べて、水素爆発は発生しないと断定し、水蒸気爆発の発生については、その可能性が小さいとする(その可能性を認める)主張をしているが、いずれについても、その具体的危険性を指摘する原告らの主張に対する反論とは全くなっておらず、それらの具体的危険性は全く否定されていない。

従って、過酷事故時に水素爆発又は水蒸気爆発による格納容器の損壊とそれに伴う放射性物質の大量放出という具体的危険性は否定されておらず、このような、危険で安全性が確保されていない川内原発の稼働は直ちに差し止めるべきである。

以 上