平成 29 年（ヨ）第 2 号　玄海原発再稼働禁止仮処分申立事件

債権者　長谷川　照　ほか

債務者　九州電力株式会社

補充書面 7

水素爆発対策の不備

2017（平成29）年5月8日

佐賀地方裁判所　民事部御中

債権者ら訴訟代理人

弁　護　士　　板　　井　　優

弁　護　士　　河　　西　　龍 太 郎

弁　護　士　　東　　島　　浩　　幸

弁　護　士　　椛　　島　　敏　　雅

弁　護　士　　田　　上　　普　　一

外

第１　はじめに

玄海原発 3･4 号機には原子炉建屋がないため、環境中への放射性物質の放出を防止する最後の防壁は格納容器である。格納容器が破壊されると、放射性物質の拡散を防ぐ方法がなくなり、甚大な規模の事故となる。

格納容器の破壊の要因としてまず挙げられるのは、格納容器内部の圧力・温度の比較的ゆっくりとした上昇と、極めて急激な爆発的上昇である。後者の原因の主なものは、水素爆発や水蒸気爆発である。

本書面はこのうち水素爆発について論じるものである。

格納容器の破壊を防ぐためには、格納容器内部において水素爆発が起きることがないよう十分な対策がとられる必要があるが、玄海原発 3･4 号機においては、後述のとおり、その対策は不十分であるといわざるを得ない。

本書面では、水素爆発のメカニズムとその危険性を説明したうえで、玄海原発 3･4 号機における水素爆発対策が不十分であることを明らかにし、少なくともその対策が十分にとられるまでは再稼働は許されないことを論じる。

なお、玄海原発 3･4 号機の水素爆発対策の不備に関する問題点の多くが、川内原発 1･2 号機運転差し止め仮処分抗告審に証拠提出された滝谷紘一氏の意見書（甲Ａ350 号証）が指摘するところと共通するので、本書面においても、同意見書に基づき論じる。

第２　水素爆発の危険性と債務者における安全対策

１　はじめに

福島第一原発事故では、水素爆発によって原子炉建屋が破壊された、大量の放射性物質が広範囲にまき散らされた。

玄海 3･4 号機はいずれも加圧水型炉（PWR）であり、沸騰水型（BWR）の福島第一原発と型式は異なり、通常運転中の格納容器内は空気なので、水素爆発が格

納容器内で生じるおそれがあり、大規模な水素爆発の場合、格納容器が損壊してしまう。この場合、福島第一原発事故における原子炉建屋内での水素爆発とは比較にならないほど大量の放射性物質が大気中に放出されることになる。

PWR において、多重故障により原子炉の冶却機能が喪失し炉心溶融が懸念される事態になったとき、炉心への注水はあきらめ、重大事故対策用の格納容器スプレイで格納容器内に水を散布して格納容器を冷却する手順が示されている。

冷却に失敗して炉心溶融が発生すると、最短では事故発生から 1 時間半程度で原子炉圧力容器が溶融貫通する。

その間に、格納容器スプレイ水が周囲の流路から格納容器下部キャビティに流入して深さ約 1.3m のプールを作り、原子炉圧力容器底部を貫通して格納容器底部に落下する溶融核燃料をそのプール内で冷却するというのが、債務者を含む電力会社の設置変更許可申請書における過酷事故対策のシナリオである。

しかしながら、そのようなシナリオでは、玄海 3・4 号機のいずれの原子炉においても、過酷事故の際には水素爆発が発生する危険性が高く、過酷事故対策としてはいわば自殺行為に等しい。

上記のとおり、福島第一原発事故によって水素爆発の危険性が明らかになり、それらの教訓を得たはずであるのに、債務者は、過酷事故対策として、それらの教訓を無視するかのごときシナリオを描いて、玄海原発の再稼働を行おうとしている。

また、以下に述べるように、債務者の描くシナリオでは、過酷事散の際に、水素爆発が発生して、より大規模な事故に発展する危険性が高いことが科学的にも指摘されている。

にもかかわらず、債務者は玄海原発を再稼働させてようとしているのであり、福島第一原発事故と同様な、あるいはそれ以上の原発事故を再び引き起こす事態にもなりかねない。

２　水素爆発とは

（１）過酷事故時の水素発生要因について

原子炉の冷却機能喪失状態が続くと、炉心燃料の温度が上昇して、燃料が溶融する。このような過酷事故の際に、水素が発生する要因として、以下の①ないし④の 4 つが挙げられる。

① ジルコニウム―水反応

燃料被覆管材料の主成分であるジルコニウム（Zr）は、高温になると、水〔H20）と化学反応して水素を発生させる。

反応式:$Zr+2H_2O \rightarrow ZrO_2+2H_2$

この反応は、ジルコニウムの温度が 1200K（絶対温度。摂氏で 927℃）程度から顕著になり、1500K（絶対温度。摂氏で 1227℃）以上で急激に進む。

② 溶融炉心・コンクリート相互作用

溶融炉心が原子力圧力容器の破損箇所から落下して格納容器内の床や壁のコンクリートと接触すると、コンクリートが熱分解により侵食される。これに伴い、水分と炭酸ガスが発生する。これらが溶融炉心に含まれるジルコニウムなどの金属成分と接すると、酸化・還元反応により水素と一酸化炭素が発生する。なお、この相互作用は、落下する溶融炉心の量、周囲の水量など様々な要因が関係するきわめて複雑な現象であり、国内外を通じての実験研究などの数が限られており、実機規模（実際の事故の際の機序を指す）での現象が十分に把握、解明されるには至っていない。

このような実情から、MCCI の進行を定量的に評価するために使用される解析コードもまだ未成熟であり、その解析結果には大きな不確かさ（誤差幅）を伴っている。

③ 水の放射線分解

放射線エネルギーにより水が分解して水素が発生する。

④ ジルコニウム以外の金属―水反応

構造材に含まれる亜鉛、アルミニウム、鉄などの金属が高温の水や水蒸気と接

すると、水素が発生する。

これらア～エのうち、事故発生直後から水素発生量が最も多いのが①のジルコニウム―水反応であり、次いで、②の MCCI である。

これらに比べると、③、④による水素発生はかなり少ないので、以下では、①と②に着目して論じる。

（２）水素の爆発現象

水素は、空気雰囲気中で酸素と反応して熱を出す。

この反応形態は反応速度に応じて、次のように分類される。

反応速度が遅い―燃焼

早い―爆発―爆燃（火炎の伝播速度が亜音速）

―爆轟（火炎の伝播速度が超音速・衝撃圧）

福島第一原発事故で生じた爆発現象は、このうち「爆轟」である。

構造物や建物の壊滅的破損を避けるためには、強烈な圧力を発生する爆轟の防止が必須となる。

新規制基準では、「格納容器が破損する可能性のある水素の爆轟を防止すること」を求め、その判断基準は、「原子炉格納容器内の水素濃度がドライ条件（水蒸気の存在を除外して算定すること）に換算して 13%以下又は酸素濃度が 5%以下であること」としている。玄海 3・4 号機のようなＰＷＲでは、水素濃度 13％以下が爆轟防止の判断基準となる（以上、乙２の 1・194 頁）。

３　玄海原発３・４号機の格納容器内での水素爆発防止対策

（１）過酷事故時に想定されるシナリオについて

玄海 3・4 号機において、債務者の設置変更許可申請書では、過酷事故の代表事故として、「大破断 LOCA（冷却材喪失事故）+ECCS（非常用炉心冷却設備）注入失敗+格納容器スプレイ注入失敗+全交流電源喪失」を想定して、対応を策定している。

このような過酷事故では、事故発生後、解析では約 27 分というごく短期間のうちにそれぞれ炉心溶融に至り、約 1.5 時間後に、原子炉圧力容器下部の破損に伴い、溶融炉心が原子炉下部キャビティに落下し始める（乙 2 の 1・196 頁）。

（２）格納容器内での水素爆発防止対策

玄海 3・4 号機での格納容器内での水素爆発防止対策は、以下の 3 種類である（乙 2 の 1・194～195 頁）。

① 原子炉下部キャビティの水張り

原子炉圧力容器の破損箇所から溶融炉心が落下し始めるまでに、格納容器スプレイを作動させて原子炉下部キャビティを十分な水位まで水張りする。

それにより、溶融炉心を冷却することにより、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の進行と水素発生量を抑制する。

ただし、MCCI の抑制対策としてのこの水張り方式には、高温の溶融炉心が水中に落下する際に「水蒸気爆発」が生じるリスクがあることについては、既に述べたとおりである。なお、このリスクをなくすとともに溶融炉心とコンクリートの接触を避けるために、フランスとロシアの新型炉では、原子炉圧力容器外に「コア・キャッチャー」を設置する方式を採用している。

② 静的触媒式水素再結合装置（PAR）の設置

これは、白金系金属の触媒を用いて、水素と酸素を結合させるものである。

5 基設置することにされているが、その処理能力からいって、炉心溶融時に大量に発生する可能性の高い水素を短時間に処理することはできず、長期的に徐々に除去する目的で設置されている。

③ イグナイタの設置

イグナイタ（水素燃焼装置）は、電気ヒータに通電して水素を燃焼させるもので、13 基（予備 1 基）設置される。

第３　玄海原発３・４号機での水素爆発対策の問題点

１　水素濃度の安全裕度がほとんどないこと

（１）水素爆発防止対策の審査ガイド

原子力規制委員会は、「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」において、主要解析条件を「3．23（4）水素燃焼」の箇所で、概ね、以下のとおり定めている（甲Ａ351 号証）。

「（a）炉心内の金属一水反応による水素発生量は、原子炉圧力容器の下部が破損するまでに、全炉心内のジルコニウム量の 75%が水と反応するものとする。

（b）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。」

（２）債務者の水素濃度の解析評価結果の検証

ア　基本解析

（ア）　債務者を含む電力会社各社は、PWR 再稼働のための審査申請において、炉心溶融と原子炉圧力容器破損に伴う格納容器内の水素濃度の時間的変化を、解析コード MAAP（過酷事故時のプラント内の様々な物理量の時間的推移をコンピュータでシミュレーション計算するソフトウエア〔=解析コード〕の名称であり、米国の電力中央研究所が所有している。）を使用して解析評価している。

この解析ケースを便宜上「基本解析」と呼び、不確かさの影響を評価する後述の解析と区別する。

（イ）債務者は、水素爆発防止対策の有効性を評価するための事故想定として、「大破断 LOCA+ECCS 注入失敗」を選定しているが、債務者は、格納容器スプレイ注入を最初から考慮に入れているのは、水蒸気が早く凝縮して水素濃度の上昇が厳しくなるためとしている。

格納容器内の水素濃度は、原子炉圧力容器破損部から炉内でのジルコニウム一水反応による水素の流出がほぼ終わる約 3 時間の間に急増、その後は静的触

媒式水素再結合装置の働きで緩やかに減少していく。

水素濃度の最大値は約 12.8%であり、格納容器破損防止対策の評価項目である水素爆議防止の判断基準値 13%を下回っている。

（ウ）ここで留意すべきは、この基本解析では、前記審査ガイドの主要解析条件（a）に従って、「原子炉圧力容器の下部が破損するまでに、全炉心内のジルコニウム量の 75%が水と反応して水素を発生する」としていることである。そこには、前記審査ガイドの主要解析条件（b）にある「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」については、考慮されていない。

その理由として、債務者は、格納容器スプレイ注水により原子炉下部キャビティには溶融炉心が落下する時点において十分な水量が確保されており、溶融炉心の崩壊熱を除去するので、床コンクリートには有意な侵食は発生しないことから、それに伴う有意な量の水素発生はない、としている。

しかし、この溶融炉心・コンクリート相互作用に伴う有意な量の水素発生がない、としていることに問題があり、この点を以下に論じる。

イ　溶融炉心・コンクリート相互作用の不確かさを考慮した解析

債務者は、解析コード MAAP を用いて溶融炉心・コンクリート相互作用（MCCI）の評価を行い、基本解析では、「溶融炉心による格納容器床のコンクリートの侵食はない」ので、相互作用に伴う水素発生は無視し、ジルコニウム反応量を全炉心存在量の 75%として水素濃度を求めている。

しかし、溶融炉心・コンクリート相互作用に関する MAAP の解析精度について、水のないドライ条件での実験データに基づく検証はされているが、水中での実験データに基づく検証はされていない。

しかも、水中では相互作用が「始まったら全部止まる」という極端に過小評価する特性のある解析モデルを組み込んでいる。

原子力規制委員会は、玄海 3・4 号機の適合性審査において、知見が少ない溶融燃料挙動について、不確かさに対する検討が不足している点を指摘し、溶融炉心・コンクリート相互作用の感度解析を踏まえた水素発生について検討することを求めた。

これに対して、債務者の検討結果と規制委員会の判断が審査書に記載されている。

それによると、債務者は、解析コード MAAP に依存することなく、「全炉心内のジルコニウムが水と反応する」と仮定した場合の水素濃度の値は最大約 12．8%であり、爆轟防止基準の 13%以下を満足するとしている（乙 2 の 1・196 頁）。

しかし、爆轟防止基準との差はわずか 0.2%程度で安全裕度がほとんどなく、この評価において考慮されていない不確かさがあれば、13%を超えることが目に見えている。

２　債務者による水素濃度の解析評価が甘いこと

溶融炉心・コンクリート相互作用（MCCI）により発生する水素量の評価には大きな不確かさがあることについて、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には、「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。」と記されている（甲 A 350 号証・11 頁）。

従って、この知見を踏まえると、玄海原発審査書において、「全炉内のジルコニウム量の 100%が水と反応する」とした仮定は、ほかの金属の反応を考慮していないので、完備性を欠いている。

ジルコニウム以外の金属で多量に存在するのが、制御棒被覆管（ステンレス鋼）と炉内構造物（炉心支持板、炉心支持柱、炉心バッフルなどの低合金鋼）に含まれる鉄

である。

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（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。

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。

水中ではイオン化傾向の大きいジルコニウムが先行して反応するとされているが、ジルコニウムの反応が完了した後には鉄の反応が続く。

この鉄―水反応による水素量が、前記 1（2）で述べた債務者の不確かさの影響評価では考慮されていない。

水素濃度に関する不確かさ影響評価として、鉄―水反応を考慮に入れると、格納容器内で水素爆轟が生じるおそれがある。

債務者の不確かさ影響評価で、鉄―水反応を考慮に入れていない理由は、それを考慮に入れると水素爆轟防止判断基準を満たすことができないから、という恣意的判断があるのではないか、という強い疑念をもたざるを得ない。

３　イグナイタは対策として問題があること

（１）労働安全衛生規則 279 条、280 条に違反すること

労働安全衛生規則 279 条は「事業者は危険物以外の可燃性の粉じん、火薬類、多量の易燃性の物又は危険物が存在して爆発又は火災が生ずるおそれのある場所においては、火花若しくはアークを発し、若しくは高温となって点火源となるおそれのある機械等又は火気を使用してはならない」と定める。過酷事故時に水素ガスを意図して燃焼させようとするイグナイタは、同条にいう高温の点火源そのものであり、イグナイタの使用は同条に反する。

また、同規則 280 条では「可燃性ガスが爆発の危険のある濃度に達するおそれのある箇所において電気機械器具（電動機、変圧器、コード接続器、開閉器、分電盤、配

電盤等電気を通ずる機械、器具その他の設備のうち配線及び移動電線以外のものをいう。以下同じ。）を使用するときは、当該・・・ガスに対しその種類及び爆発の危険のある濃度に達するおそれに応じた防爆性能を有する防爆構造電気機械器具でなければ、使用してはならない。」と定める。イグナイタは防爆構造とは対極にある、起爆・誘爆のおそれがある電気機械器具であり、その使用は同条にも反する。

（２）シビアアクシデント時にイグナイタの効果が期待できないこと

イグナイタは、ヒーティングコイルの発熱により水素ガスを燃焼させるものであるが、その作動のためには交流電源が必要であり、全交流電源喪失時において十全に機能するかは疑問である。

また、その起動は運転員による判断と操作により行われるが、シビアアクシデント時にそもそも運転員による操作が確実に期待できるか自体が疑問であるし、仮に操作が可能であるとしても、誤判断、誤操作、操作遅れなどの人的過誤が起こる可能性は払しょくできない。

第４　結語

以上のとおり、玄海原発 3･4 号機においては、水素爆発による格納容器破損防止のためには十分な対策を講じる必要があるところ、債務者においてとられている対策は、到底十分とはいいがたいものである。

このまま玄海原発 3･4 号機の再稼働を許せば、過酷事故時に放射性物質が大量かつ広範に拡散することを防ぐことができない。

したがって、玄海原発 3･4 号機の再稼働は認められるべきではない。

以上