

伊方原発3号機運転差止訴訟意見書

2016年3月22日

滝谷紘一

(元原子力安全委員会事務局技術参与、工学博士)

滝谷紘一

「水素爆轟の危険性について」の再反論

〔目次〕

- 論点1 川内審査書の理解について
- 論点2 100%のジルコニウムの反応を仮定する妥当性について
- 論点3 解析コードMAAPによる解析の妥当性について
- 結語
- 文献

筆者略歴

四国電力は被告準備書面（12）（平成28年3月9日）の中で、重大事故時の「水素爆轟による危険性」についての原告ら準備書面（57）（平成2016年1月18日）に対する反論を述べている。被告の反論内容の精査をもとに妥当でない事項を指摘する。（論点番号は筆者によるものである。）

論点1 川内1・2号機の審査書の理解について

[四国電力の主張]（被告準備書面（12）107～108頁）

原告らは、九州電力川内原子力発電所1・2号炉の審査においては全炉心内のジルコニウム量の100%が反応することを前提に審査されているかのように主張するが、これは同発電所に係る原子力規制委員会の審査書の理解を誤っている。すなわち、平成26年度の第56回原子力規制委員会において山形原子力規制部安全規制管理官は、「水素発生量の評価においては、審査ガイド（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）に従いまして、原子炉圧力容器内の全ジルコニウムの75%は水と反応する、そういう保守的な条件で評価を行っておりまして、・・・川内原子力発電所の場合は、審査ガイドに従った評価を行って我々は判断を行って、さらに、どれだけの安全裕度があるのかを確認するために100パーセントとして、感度解析として実施したものでございまして、判断の基準として実施したものではありません。」（乙C128（9頁））と明言している。また、関西電力高浜発電所3・4号炉の審査書案に対する科学的・技術的意見の公募手続（パブリックコメント）で寄せられた「川内原発の評価では、水素を生じるジルコニウムの反応量を解析に依拠せず100%としているのに対し、高浜原発の評価では、解析に依拠して約81%とし、不確かさの度合いを小さくして水素濃度13%以下の結果を出しています。」との意見に対して、原子力規制委員会は、「川内原子力発電所1号炉及び2号炉の審査では、原子炉格納容器が他プラントよりも大きいことから、ジルコニウム100%が水と反応した場合の安全裕度を参考として確認するため感度解析として実施したものです。」（乙C129（別紙1の68頁））と回答している。したがって、原告らの主張には理由がない。

[筆者の反論]

四国電力は、関西電力高浜原発3・4号機の審査書を確定した規制委員会（平成26年9月10日開催）における山形原子力規制部安全規制管理官の説明の議事録（以下、山形説明）及び同審査書案に対するパブリックコメント募集で寄

せられた意見に対する規制委員会の考え方（以下、パブコメ回答）の文書をもとに、「原告らが川内原発審査書の理解を誤っている」と主張しているが、この山形説明とパブコメ回答は、筆者が公開論文（文献1）でそれらが審査事実とは異なる詭弁であるとして批判した対象である。以下に批判の要点を記す。

最初に、川内原発審査書(文献2)の該当箇所を抜粋して、下記の枠内に記載する。(下線は筆者による着目箇所を示す。)

<川内審査書 IV-1.2.2.5 水素燃焼、pp.196~197 より抜粋>

2. 審査結果

規制委員会は、格納容器破損モード「水素燃焼」に対して、申請者が格納容器破損防止対策として計画している水素濃度の低減が、事象進展の特徴を捉えた対策であると判断した。

評価事故シーケンス「大破断 LOCA 時に低圧及び高圧注入機能が喪失する事故」において、PAR の設置などを行った場合に対する申請者の解析結果は、格納容器破損防止対策の評価項目 (f) を満足している。さらに、解析コードに依拠せずジルコニウム最大反応量で評価しても格納容器破損防止対策の評価項目 (f) を満足している。これにより、解析条件の不確かさを考慮しても、評価項目 (f) を概ね満足しているという判断は変わらないことを確認した。

(中略)

以上のとおり、規制委員会は、上記の確認及び判断により、格納容器破損モード「水素燃焼」に対して申請者が計画している格納容器破損防止対策は、有効なものであると判断した。

3. 審査過程における主な論点

(1) MCCI に伴う水素発生

規制委員会は、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、MCCI の感度解析の結果を踏まえた水素発生について検討することを求めた。申請者は、これに対し以下のように説明した。

①原子炉下部キャビティ床面での炉心デブリの拡がり、炉心デブリと原子炉下部キャビティ水の伝熱等のパラメータを組み合わせた場合、MCCI により発生する水素は、全てジルコニウムに起因するものであり、反応割合は全炉心内のジルコニウム量の約 6% である。

②さらに、上記を上回るものとして、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において、ドライ条件に換算した原子炉格納容器内水素濃度は最大約 12.6% であり、格納容器破損防止対策の評価項目 (f) を満足する。

規制委員会は、上記の申請者の評価が十分保守的であるため妥当であると判断した。

山形説明には「審査ガイドに従いまして、原子炉圧力容器内の全ジルコニウムの75%は水と反応する、そういう保守的な条件で評価を行っておりまして、・・・なお、川内原子力発電所の場合は、審査ガイドに従った評価を行って我々は判断を行って、さらに、どれだけの安全裕度があるのかを確認するために100パーセントとして、感度解析として実施したものでございまして、判断の基準として実施したものではありません。」とあるが、この言辭には審査ガイド自体に矛盾している点がある。

審査ガイドには、主要解析条件に次の2項目が含まれている。

(a)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¹及びその他の非凝縮性ガス等の発生を考慮する。

山形説明では、全ジルコニウムの75%の反応は保守的な条件であり、100%とした評価は安全裕度の確認のために感度解析として実施し、判断の基準としていないことになる。しかし、審査ガイドでは「(a)原子炉圧力容器の下部が破損するまでの75%が水と反応する」ことだけでなく、「(b)原子炉圧力容器の下部が破損した後についての溶融炉心・コンクリート相互作用による可燃性ガスの発生の考慮」も含めて判断の基準とする解析評価の実施を求めているのである。判断の基準上は(a)に定めた75%の反応の解析だけでよく、(b)は不要とする山形説明は、審査ガイドと矛盾している。

川内審査書における(a)と(b)の両方をもとにしたジルコニウム反応量100%とする評価は、(b)に関する解析における不確かさの影響を最大限に考慮したこと由来のものであり、前掲の同審査書の下線部2カ所に明記されているとおり、規制委員会の判断の根拠に取り入れられている。この100%の評価が、山形説明にある「どれだけ安全裕度があるのかを確認するための感度解析」ではないことは、下線部を含めてどこにも「安全裕度の確認」とか「感度解析」とかの用語が入っていないことより明らかである。

高浜3・4号機の審査書(案)へのパブコメ回答には「なお、川内原子力発電所1号炉及び2号炉の審査では、原子炉格納容器が他プラントよりも大きいことから、ジルコニウム100%が水と反応した場合の安全裕度を参考として確認するため感度解析として実施したものです。」と記載されている。この中にある「原子炉格納容器が他プラントよりも大きいから、・・・安全裕度を参考として確認する・・・」は科学的に理の通らない言辭である。なぜならば本来、安全裕度の確認は、原子炉格納容器の体積が小さくて、爆轟防止判断基準に対する水素

¹ ここでの可燃性ガスには水素、一酸化炭素などが該当する。

濃度の裕度が小さいことが懸念される場合にこそ重要性が高いからである。

なぜ規制委員会は、高浜3・4号機審査書の決定の際に、パブリックコメントで川内審査書と同じように「全炉心内のジルコニウムが水と反応する場合」の評価を求められたことに対して、川内審査書ではそれは判断の基準には入っていないとする事実と異なる説明と回答をしたのだろうか。筆者には、川内審査書と同じ様に「全炉心内のジルコニウムが水と反応する場合」の評価を判断の基準に入れると、高浜3・4号機を含めて川内1・2号機よりも格納容器体積の小さいPWR 3ループプラント及び4ループプラントのすべてにおいて、格納容器内水素濃度最高値が水素爆轟防止判断基準の13%を超えて、新規制基準に不適合になるので、そのような審査結果を避ける恣意があるのではないかとの疑いがある。規制委員会には、審査においては結果を問わずに科学的、技術的に一貫性のある厳正さを求めるものである。

以上のとおり、本論点に関して四国電力が抛りどころとする規制委員会の山形説明とパブコメ回答は妥当なものではなく、原告らは川内審査書の理解を何ら誤ってはいない。

論点2. 100%のジルコニウムの反応を仮定する妥当性について

【四国電力の主張】（108頁）

被告が、「仮に100%のジルコニウムが水と反応することを仮定したとしても、イグナイタの効果が見込まれることから、原子炉格納容器内の水素濃度を13%未満に抑えることが可能」と述べたのは、被告が水素爆発を防止するために念には念を入れた対策を講じていることを示すものであって、100%のジルコニウムが水と反応することを認めるものではない。なお、原告らは、イグナイタの効果の検証に関する資料の一部が「機密」扱いとされて公開されていないことを批判するが、当然ながら、被告が原子力規制委員会に提出した資料においては全て明記した上で審査がなされているものである。

【筆者の反論】

四国電力が「100%のジルコニウムが水と反応することを認めるものではない。」としていることは、溶融炉心・コンクリート相互作用に伴う水素発生量の評価を解析コードMAAPに依拠し、同コードに依拠せずに最大反応量で評価する九州電力と比べて厳しさに欠ける安全評価を行っていることを意味する。

MAAP解析が水中での溶融炉心・コンクリート相互作用の進行を過小評価する側の極端にある特性をもつことは、すでに筆者意見書甲231号証(10~11頁)及び原告準備書面(45)(10~11頁)で論証したとおり、国際原子力機関IAEAの報告書で示され、更田豊志原子力規制委員長代理もその旨の見解を表明しているところである。(本件に関しては、四国電力からは反論がなされていない。)従って、四国電力がMAAP解析に依拠していることは、厳しさを欠く安全評価を行っている証左である。

四国電力がイグナイタの効果の検証に関する資料の一部を「機密」扱いとして公開せず、規制委員会にのみ提出していることは、一般の人々に対する安全性の立証を尽くさない姿勢の一つの表れである。ここでの「機密」対象の図は、甲281号証(7頁)に示したように、水素燃焼モデルの解析解と計算予測の結果比較であり、このような純学術的な検証結果が商業機密や特定秘密に該当するとは思われず、何故「機密」扱いにされるのか、筆者にはきわめて理解しがたいことである。

なお、イグナイタの設置、使用に関しては、筆者の意見書甲298号証「起爆源になりうるイグナイタは労働衛生規則に違反」(2016年2月23日)でそれが一般産業分野での水素爆発防止の基本対策に反していること、そして法規違反にあたることを指摘している。

論点3 溶融炉心・コンクリート相互作用に関する解析コードMAAPによる解析の妥当性について

[四国電力の主張](109頁)

被告は、「溶融炉心・コンクリート相互反応」に係る対策の有効性評価(乙C70(10(3)-7-2-150頁以下))において、原子炉下部キャビティに水量が確保されていれば、溶融炉心からの崩壊熱は除去され、有意な侵食が生じないことを確認している(乙C70(10(3)-7-2-155~156頁))。これは、原子力規制委員会による新規制基準適合性審査の中でもその有用性が認められている解析コード「MAAP」に従った解析で得られた結論である(MCCIに関するMAAPコードを用いた解析の妥当性については、ACE実験、SURC実験、DEFOR実験及びOECD-MCCI実験といった各種実験との結果の比較によりその妥当性が確認されている(乙C103(210頁及び251頁))。このような結論について、原告らも、甲157の78頁においては「我が国においては、溶融デブリは、原子炉圧力容器からの流出と共にプール水で冷却されて固化し、その

後コンクリート・スラブに積層してから再発熱したとしても十分な冷却を受け、MCCIが起こることはないというスタンスのようである」と述べており、その結論の当否はともかく、少なくとも日本において上記のMAAPコードに従った結論が一般的と考えられていること自体は認めていると思われる。もっとも、先にも述べたとおり、被告は、最終的にはMCCIという現象が現時点の知見としては不確かさが大きい現象であることに鑑みて、MCCIが発生する可能性を考慮することとし、コンクリート侵食量に影響を与える各種パラメータについて不確かさを考慮した厳しい解析を実施した結果、最大で全炉心内のジルコニウム量の約6%が反応する可能性があるとして想定している(乙C70(10(3)-7-2-162頁))。

[筆者の反論]

四国電力は、「MCCIに関するMAAPコードを用いた解析の妥当性については、ACE実験、SURC実験、DEFOR実験及びOECD-MCCI実験といった各種実験との結果の比較によりその妥当性が確認されている」と主張しているが、四国電力によるMAAPコードの説明資料(文献3)にもとづき各実験内容を精査すると、伊方3号機で問題になる水中での溶融炉心・コンクリート相互作用についての解析の妥当性の確認は何らなされていないのである。

コンクリートの侵食深さの時間変化について実験とMAAP解析が比較されているのは、ACE実験とSURC実験であるが、両実験とも冷却水の注水を行わない、ドライな条件で行われたものである。このような検証結果は、水中でのコンクリート侵食が問題となる伊方3号機の実機条件に適用できるものではない。

DEFOR実験は、種々の条件での水プール中に模擬溶融物が投入された際の、溶融炉心の細粒化と堆積過程に着目した実験である。OECD-MCCIの実験は、コンクリート侵食が進んだ状態で注水した場合の溶融物の挙動(全体の冷却、クラスト²のひび/割れ目からの水侵入、溶融物の噴出、クラストの破損)の調査を目的としたものである。両実験ともコンクリート侵食のデータは採取されておらず、両実験結果を用いてのMAAPの検証は示されていない。

この調査から、水中での溶融炉心・コンクリート相互作用の進展解析については、MAAP解析の検証は何ら行われていないことが判明した。従って、「各種実験との結果の比較によりMAAP解析の妥当性が確認されている」との四国電力の主張は、水中での溶融炉心・コンクリート相互作用に関しては根拠のないことである。

² クラストとは溶融物の表面が固化してできる外殻を指す。

「原告らが（中略）日本において上記のMAAPコードに従った結論が一般的と考えられていること自体は認めていると思われる。」との記述については、四国電力による曲解である。引用されている佐藤暁氏による甲157号証の78頁での記述には「我が国においては、溶融デブリは、原子炉圧力容器からの流出と共にプール水で冷却されて固化し、その後コンクリート・スラブに積層してから再発熱したとしても十分な冷却を受け、MCCIが起ることはないというスタンスのようであるが、問題が4点あるように思われる。」とあり、ここでの「我が国においては」が新規制基準適合性申請とその審査の当事者である電力会社及び規制委員会を指しており、原告らを指しているのではない。このことは、文末の「問題が4点あるように思われる。」との記述からも明らかである。

文末にある「コンクリート侵食量に影響を与える各種パラメータについて不確かさを考慮した厳しい解析を実施した結果、最大で全炉心内のジルコニウム量の約6%が反応する可能性がある」と想定している（乙C70（10（3）-7-2-162頁）」に関しては、次の問題がある。

「コンクリート侵食量に影響を与える各種パラメータの不確かさを考慮した厳しい解析を実施した結果」については、水中の条件では実験検証がされておらず、（論点2での[筆者の反論]に記したように）溶融炉心・コンクリート相互作用の進行を過小評価する側の極端にある特性をもつMAAPの解析モデルそのものに不確かさがあり、単に各種パラメータの感度解析を実施しても厳しい解析評価になる保証はなく、当を得ていない言辞である。従って、全炉心内のジルコニウム量の約6%が反応するとした想定は厳しいとはいえず、川内審査書におけるように解析コードに依拠せず最大限のジルコニウム反応量を想定することが、厳正な安全審査として妥当なのである。

結語

論点1（川内審査書の理解）、論点2（100%ジルコニウムの反応の仮定の妥当性）、及び論点3（解析コードMAAPによる解析の妥当性）についての四国電力の主張はいずれも妥当性を欠くものである。

文献

- (1) 滝谷絃一「高浜審査書(案)・水素発生量評価についての規制委員会の考え方への反論」科学、2015年4月号（甲299号証の2）

- (2) 原子力規制委員会「九州電力株式会社川内原子力発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書(1号及び2号発電用原子炉施設の変更)に関する審査書」(2014年9月10日)
- (3) 四国電力株式会社「伊方発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書(3号原子炉施設の変更)の一部補正」(平成27年4月14日)、この中の(分冊13)重大事故対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて(第3部 MAAP)、添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について」

筆者略歴

1942 年 生まれ

1965 年 京都大学工学部原子核工学科卒業

1967 年 京都大学工学研究科原子核工学専攻修士課程修了。

川崎重工業（株）入社。原子力研究開発部門に配属。

1978 年 高速炉エンジニアリング事務所（後に、（株）高速炉エンジニアリングに改組）に出向

1979 年 京都大学工学博士学位取得

1982 年 （株）高速炉エンジニアリングを出向解除、川崎重工業（株）に復帰

2000 年 （財）原子力安全技術センターに出向、総理府原子力安全室（2001 年内閣府原子力安全委員会事務局に改組）技術参与に採用される。

2002 年 （財）原子力安全技術センターを出向解除、川崎重工業（株）を定年退職。
内閣府原子力安全委員会事務局技術参与として、原子力安全規制に従事。

2008 年 同上を退職。

2013 年 原子力市民委員会に規制部会メンバーとして参加。

専門： 原子力工学、原子力安全