

「東北電力株式会社女川原子力発電所2号炉の発電用原子炉設置変更許可申請書に関する審査書案に対する科学的・技術的意見の募集について」に対する、高島武雄さんの提出意見（抜粋）
（※全文は、風の会のHPをご参照ください）

0. 压力容器内での水蒸気爆発は考えなくてよいのか？

東北電力は、压力容器内水蒸気爆発は考慮しなくてよいとしている。審査基準もこれに沿ったものである。しかし、福島第一原発2号機では、2011年3月14日から15日にかけて、水蒸気爆発の可能性も考えられる。

1. 「外乱が加わる要素は考えにくい」ことを理由に「実機において水蒸気爆発に至る可能性は極めて小さい」と断定している東北電力の文書は事実と反する

過去に起きた金属工場などでの水蒸気爆発事故はまさに「外乱が加わる要素」が考えにくい時にも発生しているのである。たとえば、2018年7月6日に岡山県総社市の朝日アルミ産業岡山工場で溶融アルミニウムの水蒸気爆発事故が発生しているが、この爆発の発生のトリガーがどのようなものであったかなどというものはわかりようがないのが現状である。安易にトリガーが考えられないから爆発は起こらないなどと結論付けることはできない。

2. 水蒸気爆発シミュレーションは条件によって結果が異なる

森山らが設定したBWR型軽水炉の炉外水蒸気爆発による格納容器破損モードのうち、(a)圧力抑制プールで爆発が発生した場合は、ペDESTAL壁の破損を想定している。(b)ペDESTALで爆発が発生した場合は、ペDESTAL側壁と压力容器の突き上げを想定している

女川原発2号機のようなMARK-I改型格納容器では、(b)の压力容器の突き上げの発生の可能性が最も高いと思われる。この時の破壊確率は、95%の確率で破損する現象が起こる確率を0.65%としている。(a)の場合は27%、PWRの場合は33%となっているのに対していちじるしく低い値となっている。これは水深を2mと浅く設定したことによると思われる。

一方、東北電力の解析の条件では、溶融炉心の量などの記述がない。当然、粗混合する量によって結果は大きく異なる。たとえば、同じJASMINEを使った森山らの計算では、ケース名No.5のように条件によっては粗混合量が6.47トンとなりこの時の流体の運動エネルギーは197MJとなっている。東北電力の計算37MJの5倍以上である。すなわち、条件次第で結果は大きく変わる。仮に、運動エネルギーが2倍になるだけで、格納容器下部構造物の降伏応力を容易に上回る応力が加わることが推定できる。計算条件の設定が不十分と言わざるを得ない。

3. シミュレーション結果は使用する解析コードによって異なる

計算結果は計算時の初期条件と境界条件によって異なるが、解析に用いる計算コードによっても全く違った結果となる。たとえば、M.Leskovearの解析では、ペDESTAL内側で約300MPaの圧力値（圧縮応力に相当）が生じている。実際の爆発時には、圧力波は構造物の外側面で反射が繰り返されたり、圧力波の重なりが生じたりするなど、時間的、空間的に複雑な応力分布となり、降伏応力を上回ることも予想できる。

衝撃圧力波が反射波となる壁面では、圧縮応力が反転した形の引張応力が生じる。とりわけ外側外壁や亀裂部分は、大きなダメージを受ける。このような破壊は「スポール破壊」と呼ばれる。

コンクリート構造物は、圧縮荷重には大きい強度を示すが、引張荷重に対しては、圧縮荷重に対する強度の8から10%程度しかなく極めて弱い。コンクリート自体は10MPa以下の強度しかない。これを補うため鉄筋を入れ、内側外側に鋼板を張り付けるものと思われる。しかし、内部でコンクリートに亀裂が入るなどすることで、原子炉压力容器を支えることが出来なくなれば、压力容器が倒壊または脱落する危険がある。さらに、格納容器の破損などに至り、原発の健全性を脅かすことになる。東北電力ではスポール破壊の検討は行ったのであろうか？

4. COTELS 実験の結果は水蒸気爆発が起こらないという根拠にならない

※注 従来の実験は次の4つ(12月14日の学習会のレジメより)

- ①KROTOS 試験: JRC (Joint Research Center) イスプラ研究所
- ②FARO 試験 ⇒水蒸気爆発は起こらない(L-33は爆発と思われる)
- ③COTELS 試験 ⇒水蒸気爆発は起こらない
- ④TROI 試験: 韓国原子力研究所 ⇒自発的水蒸気爆発の発生

従来の実験のうち日本の研究者が行ったものには COTELS 実験(旧原子力発電機構 NUPEC がカザフスタンの原子力センターで行った実験)がある。この実験では、8回の実験の結果が報告されているが、敢えて水蒸気爆発が起こりにくい条件を設定して行われたといわれても仕方がない。さらに、実験者はもともと原発製造メーカーの社員であり、実施時はたまたま原子力発電機構に出向していたものにすぎない。利害関係者によるこのような実験結果に客観性があるか疑問だと言わざるを得ない。

5. KROTOS 実験は実機へ適用するのは難しい

水槽の直径が 95mm (SERENA 計画で 200mm に変更か?) で、水深が約 1000mm の水槽を使用している。このような実験装置の形状は、およそ実機の条件(水深が数メートル、直径が 10 メートル以上)とはかけ離れている。つまり、KROTOS 実験では、水蒸気爆発が起こりにくい条件を作り出していると考えられる。このためもあってか、その後水槽の直径を 200mm にしている。しかしながら、実験データの番号は連続している。いつの時点での時点で 200mm になったのか不明だ。実験装置を変更したのであるから、そのことを反映した RUN No. とすべきであろう。少なくとも SERENA プロジェクトでは、200mm の装置で実験が行われているようだ。95mm の水槽に比べて水量は、4 倍以上となり、水の流動状態も変わってくる。両者の実験は区別して考えるべきである。しかるに、東北電力の文書の引用は、どちらの水槽の結果のものか定かではない。少なくとも、95mm の水槽による実験は、水温の上昇、管壁の影響を受けた流動状態になることから、実機の現象の参考にするには無理がある。

6. FARO 実験の L-33 は外部トリガーによって水蒸気爆発が発生している

FARO 実験については、12 回の実験中、8 回はサブクール度が 0 から 2K という極めて低サブクール度で行われている。水蒸気爆発発生に関するこれまでの知見では、水温が飽和温度もしくは飽和温度に近い低サブクール度の条件では、起こらない、ということが多くの研究で明らかにされている。残りの他の 4 回の実験のうち、2001 年に報告された FARO 実験に関する論文によると、L-33 の結果は、東北電力などは「水蒸気爆発」は「なし」として、FARO 実験では、一切「爆発しない」としている。しかし、本実験結果に関する原著論文では、タイトルで「ENERGETIC EVENT 激しい現象」、本文中では「mild explosions 弱い爆発」と、弱いながらも「爆発」としている。これらことから、FARO 実験の L-33 では水蒸気爆発が発生しているとする方が自然である。

7. 炉心溶融物質は自発的な水蒸気爆発が発生している

TROI 実験ではトリガーがある場合はもちろん、自発的水蒸気爆発も複数回確認されている。これに対して、規制委員会は、「TROI 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おいては、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、この条件は実機の条件とは異なっています。国際協力の下で実施された OECD SERENA 計画では、TROI 装置を用いて溶融物の温度を現実的な条件とした実験も行われ、その結果、本実験においては自発的な水蒸気爆発は生じていないことを確認しています」と、その後 SERENA 計画で TROI 装置によって自発的水蒸気爆発の発生の有無に関する実験を行ったとしている。しかし、そのことを示す報告書や文献を示していない。SERENA では TROI 装置を使用した実験は 6 回行われた旨が報告されているが、いずれも外部トリガーを加えた実験であり、自発的に爆発が起こるか否かを明らかにした実験ではない。規制委員会が言うような実験が行われているのであれば、そのエビデンスを示す

べきである。各電力会社も「規制委員会が TROI 実験で自発的水蒸気爆発が起こらないことを確認していると述べている」というふうに釈明するようになった。規制委員会の早急な対応と電力会社への周知を行うべきであると考ええる。

8. 東北電力による TROI 実験データの不正確な引用は撤回し審査をやり直すべき

東北電力が不正確に引用（あるいは誤った引用。意図的だとすれば書き換え、あるいは改竄）した部分は、TROI 実験の実験番号 34 から 37 の溶融物の温度を、実験実施者の原著論文からではなく、ストラスブール大学の学生の学位（博士）論文の文献調査の表から引用したもので、原著論文と博士論文の書式と数値が異なっていることである。

原著論文では、溶融物温度を「溶融物測定温度」と「補正溶融物温度」について、それぞれ「有効数字 4 桁」で示しているのに対し、東北電力の文書では「溶融物温度」「 ~ 3000 」と記している。この点について、電力会社は「引用文献を明記しているから問題ない」とか「新しい文献を引用したため」などと述べ不正確な引用を正当化している。

しかし、不正確な引用には以下のような問題点があると思われる。

(1) 水蒸気爆発にとって高温溶融物の温度は最も重要な基本データのの一つ

水蒸気爆発において溶融物温度は、水温や系の圧力、溶融物の質量などとともに、結果を理解・評価するための非常に重要なデータである。したがって、このデータの取り扱いには十分注意を払う必要がある。ましてや実験を実施して報告している論文があるのに、その論文のデータと異なる値を書き込むなどということはやってはいけないことである。

(2) TROI 実験では実験実施者は溶融物温度の測定にかなりの労力を注いできた

溶融炉心物質を使った実験のうち COTELS 実験のように高温溶融物温度の測定値が掲載されていない実験もあるのに対し、TROI 実験では溶融物温度の測定にかなりの労力を注いできたと思われる。

(3) 東北電力の引用はあたかも大きな誤差を含む不正確な温度であるという印象を与える

データの不正確な引用が意図的かどうかはわからないが、測定された温度が、あたかも大きな誤差を含む不正確な温度であるような印象を与えている。このことは TROI 実験の従事者の仕事・努力を貶めるものである。

(4) 審査をやり直すべき

データの不正確な引用は、規制委員会でも気づかなかった。当初、電力各社は申請書（例えば、「九州電力株式会社川内原子力発電所 1 号炉及び 2 号炉の審査書案」（2014 年）など）の審査に当たって、自発的な水蒸気爆発が発生していた TROI 実験の結果をいっさい出さず隠蔽した点は問題だった。それでも規制委員会は、隠蔽をとがめるわけでもなく、提出を要求するでもなく認可を出してしまった。その後パブコメ等で TROI 実験の存在を指摘されてから、電力会社も出すようになったが、規制委員会の判断はいささかも変わっていない。今回新たに不正確な引用が明らかになった以上審査をやり直すべきである。

9. 論文の孫引き問題の他に、さらなる東北電力の TROI 実験の解釈の問題点

TROI 実験に関する 2003 年 10 月発行の文献を無視している点である。東北電力文書では 2003 年 5 月に発表された同じ著者らによる文献を引用している。しかし、無視した文献はこの文献の後に発行されている。したがって、東北電力は新しい方の文献を引用したというのであれば、10 月の文献を引用すべきである。新しい文献を無視して古い方の文献を引用した理由は、自発的に水蒸気爆発が発生した TROI-13 と TROI-14 の溶融物の温度に関する記述が、東北電力にとって都合がよいと推定される。すなわち東北電力の文書では、(注 1) として「3500K 程度以上」とあるが、無視した新しい文献では「3500K 近くであろう」とあり、「以上」とは書いていない。また、(注 2) として、「最高温度 (4000K, 3200K) を示しており、計測の不確かさが大きい」とあるが、やはり無視した文献には、最高温度がチノ (注：温度計のメーカー) の温度計では 3800K、IRCON (注：やはり温度計のメーカー) の温度計では 3200K となったとあり、「以降の実験では IRCON の放射温度計を使うことにした」と明確に記述してある。すなわち TROI-14 の溶融物温度には、正し

いということを確認している。

東北電力は、自発的な水蒸気爆発が確認された TROI 実験の結果を、あたかも誤差の大きい信頼性に欠けるかのように導いている。正しい結果を基に再審査を行うべきである。

10. 水張りは世界基準に反する

水張りは日本とスウェーデンのみ：2017年の OECD SERENA Report によると、概要のところでは、「機械訳：(2) すべての国ではないが、ほとんどの国では、主に未解決の不確実性により、炉外蒸気爆発の考慮が未解決の問題のままである」とある。水蒸気爆発対策は、それぞれの国の規制基準と原子炉の型式によって異なるが、あらかじめ貯めてある水プールに溶融炉心を落とすことを、日本とスウェーデン（要確認）が認めたのに対し、そのほかのほとんどの国では、認めていないという意味だと思われる。これが SERENA プロジェクトを経たうえでの世界の認識である。

11. 水張りによる溶融炉心の冷却はやめるべき

水蒸気爆発対策に対する IAEA の技術出版物の「原子力発電所の設計のための IAEA 安全要の適用に関する考慮事項」において、「格納容器バリアに損傷を与える可能性のある蒸気爆発をなくすために、考えられる事故シナリオで溶融炉心が水に落ちないようにすることが好ましい方法である」とある。水に落とすことを避けるべきであるとしている。日本の対応は大きく逸脱している。

さらに、TROI 実験を行った韓国の水蒸気爆発対策の基本は IVR である。韓国の APR-1400 という加圧水型原子炉では、過酷事故対策は IVR (In-vessel Retention: 炉内保持) を採用している。APR-1400 の水蒸気爆発対策として、液体金属で圧力容器の外側を冷却する IVR-ERVC という方法を提案している。基本的には IVR で対応して、失敗時には水張りで対応すると理解される。

女川原発 2 号機のような BWR では圧力容器下部に制御棒用の装置があるため IVR は難しいと考えられている。そのため東芝は欧州向けの輸出用の EU-ABWR では東芝型コアキャッチャー（炉心溶融物保持装置）を設置するとしている。国内の原子炉についてはこのようなことは報告していない。ダブルスタンダードも甚だしい。かつての公害規制の緩い国へは有害物質を排出する装置を輸出していたことを彷彿させる。少なくとも「溶融炉心は水プールに落として冷却すべき」と積極的に支持する機関、国、研究論文は見当たらない。女川原発についても水張りは認めるべきではない。

12. 水張り水位 3.88m の科学的根拠を示してほしい

BWR 型原発の審査では、柏崎刈羽 6, 7 号機については、水深 2m、東海第二については 1m という深さで審査を通過させている。一方、女川 2 号機については 3.88m にするとしている。そもそも、この深さにする科学的根拠はあるのだろうか？ あるなら提示してほしい。4m でもない、3.9m でもない 3.88m としたことにはどのような意味があるのか？ ピットの深さ、水位計の取り付けの都合で決めたものではないのか？

先行する PWR では、圧力容器直下のキャビティと呼ばれる部分に水を張るなどの対策が採られている。その水位は関西電力大飯 3, 4 号機では初期の時点で 1.1m としている。最終的には 2.9m にするようだ。水深に関する規制がバラバラである。このことは規制委員会自身が水蒸気爆発を防ぐための学理を保持していないことを吐露しているものである。

13. 水張りは設計思想に反する

女川原発 2 号機は沸騰水型で格納容器は「マーク I 改良型」である。マーク I 型は、水蒸気爆発を避けるために圧力容器下部に水を置かないようにわざわざサプレッションチェンバーをドーナツ状として、周囲に配置したと理解している。そのおかげで、福島では圧力容器内外で大規模の水蒸気爆発は起こらなかったとされている。ところが、東北電力の文書によると女川原発 2 号機では、そのような事故経験に学ぶことなく、そしてそもそもの設計理念を裏切って「格納容器下部注水系（常設）によって溶融炉心を冷却する」という。このような考え方は、当初の設計思想と矛盾するものである。必ずや、システムの運転に齟齬をきたすであろう。

14. コリウムバッファーという緩衝材の効果は疑問

2019年11月の東北電力の文書によると、水張りした水面直下にコリウムバッファーという緩衝材を設ける予定のようである。材料等の詳細は不明だが、金属製の金網状のものと推定される。落下する溶融炉心の水面での衝撃を避けようという意図のようであるが、細粒化を促進する可能性や、爆発の発生を遅らせてより多くの炉心溶融物の爆発を引き起こす危険がある。さらに、バッファー自体が溶融することで、溶融物全体の質量を増加させるだけという恐れもある。実は、このような方法は、旧原子力研究所で「溶融物分散板」の効果として、実験的に調べられている。それによると「水温が飽和温度に近いとき、あるいは雰囲気圧力が1MPa以上の高圧のときは水蒸気爆発は起こりにくい」と効果があるようにされているが、「起こった場合には通常より激しい水蒸気爆発となった」とあり、その効果を一概に判断することは難しそうだ。果たして東北電力は、実験的に有効だという裏付けを持っているのだろうか？単に、規制委員会から「柏崎刈羽6,7号機で検討したから女川2号機でも検討せよ」と言われ、採用を検討しているだけではないかという疑念がぬぐえない。

またコリウムシールドを使用するかどうか定かではないが、仮に使用するのであれば、水蒸気爆発対策になるかは疑問である。

規制委員会は、BWR型の東海第二などでは、ペダスタルキャビティ部の水深1m程度の水プールに落下冷却させることを認めている。MCCIを避けるためにコリウムシールドを設置することも認めている。コリウムシールドとは、厚さ150mmの酸化ジルコニウム製セラミックス板のことである。材質はコアキャッチャーの内張りとして使用されるものと同じ。コアキャッチャーについて更田氏は、2012年の新安全基準に関する検討チームの会議では「コアキャッチャー自身も、技術として十分に確立された技術かという点、私は、それほどのものでもないと思っています」と発言している。技術的に信頼性が確認できていないことを述べているものと思われる。にもかかわらず同種の技術であるコリウムシールドを対策として認めるのは矛盾している。小生の計算では、崩壊熱が出力の1%程度でも、コリウムの厚さが100mm以上になると、コリウムシールドの使用条件(2400℃)を超える温度になる。とても使える技術ではない。