

「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」に対する提出意見

2020.01.10
高島武雄

受付番号： 201912200000957790

・圧力容器内での水蒸気爆発は考えなくてよいのか？

設置許可基準規則 37 条 2 項によれば、「発電用原子炉施設は、重大事故が発生した場合において、原子炉格納容器の破損及び工場等外への放射性物質の異常な水準の放出を防止するために必要な措置を講じたものでなければならない」とされており、同規則の解釈 2-1 (a) で必ず想定する格納容器破損モード 6 つのうちの一つとして、「原子炉圧力容器外の熔融燃料冷却材相互作用」があげられており、この対策をすることで審査を受けている。

東北電力は資料 1-1-5 「女川原子力発電所 2 号炉 重大事故等対策の有効性評価について 2018 年 6 月」の「別紙 9」の pp.223-234. の記述を根拠に圧力容器内水蒸気爆発 (α -モード破損と呼ばれる現象) 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、熔融ジルカロイと外部から注水した海水との水蒸気爆発のほか、熔融燃料（主成分は UO_2 とと思われる）と海水との水蒸気爆発の可能性も考えられる。圧力容器内といえども、運転時の圧力が大きく低下した場合や、外部から温度の低い水が注入されたようなときには水蒸気爆発が起こっても不思議ではないからである。

H. M. Higgins の A STUDY OF THE REACTION OF METALS AND WATER (Interim Report AECD 3664 1955. p.25) によれば、熔融ジルコニウムやジルカロイ合金の爆発性はアルミニウムなどよりはるかに大きいことが 1955 年時点で分かっていた。東京電力も熔融物と冷却水の接触があったことは認めているが、「圧力スパイク」だったとしている。しかし、SRV が開いたという記録がないにもかかわらず圧力が急減するなど、「圧力スパイク」では説明は困難である。爆発現象による破損の可能性が否定できないと思われる。以上の事実から、女川原発 2 号機の審査においては圧力容器内での水蒸気爆発の危険性についても審査を行うべきと考える。

受付番号： 201912200000957841

「IV-1. 2. 2. 3 原子炉圧力容器外の熔融燃料-冷却材相互作用」に関して

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（女川原子力発電所 2 号炉重大事故等対策の有効性評価について 2019 年 2 月, p.65）は事実に反する

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熔融アルミニウムの水蒸気爆発事故が発生している (oka.imono.main.jp/pdf/bcp/asahi_alumi_kenkei_sanyo20180719.pdf) 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。このような実際の事故の多くは実験室で発生するはずがないとされていた金属や実験条件で発生しているのが実際である。原発事故時に生じる炉心熔融物でも、自発的には発生しないという実験結果が報告されている一方、TROI 実験のように自発的な爆発が起こることが確認されているものもある。またジルコニウムといくつかの物性値が近い、熔融シリコンなども極めて激しい爆発がトリガーなしで起こることが確認されている（森山ほか 2 名、熔融シリコンの水蒸気爆発に関する研究, JAERI-Research 2000-021(2002)）。ことほど左様にトリガーについてはわかっていないことが多い。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 側壁と圧力容器の突き上げを想定している（森山ほか 4 名、軽水炉

シビアアクシデント時の炉外水蒸気爆発による格納容器破損確率の評価, JAEA-Research 2007-072(2007),p.12.) .

女川原発2号機のような MARK-I 改型格納容器では, (b) の圧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 2 m 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 となるとしている. 東北電力の計算 (東北電力株式会社, 女川原子力発電所2号炉重大事故等対策の有効性評価について, 2019年2月, p.82.) の 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.

受付番号: 201912200000958641

IV-1. 2. 2. 3 原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用

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 (M.Leskovear,Simulation of Ex-Vessel Steam Explosion, in P. Tsvetkov ed.Nuclear Power Operation, Safety and Environment, INTECH(2011),pp.207-234.www.intechopen.com/books/nuclear power operation safety and environment/simulation of ex-vessel steam explosion)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.

ご案内のように, 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, 原子炉圧力容器を支えることが出来なくなれば, 圧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

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, ほとんどがサブクール度が小さい実験である. 1点のみサブクール度 86°Cの実験が行われているが, この時は大気をアルゴンガスにしている. つまり溶融物が水に突入する際, 巻き込む気体が非凝縮気体となる. 従来から, 非凝縮気体を巻き込んだ場合は水蒸気爆発が発生しにくくなることが知られている. すなわち, COTELS 実験は取っ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. 所属企業にとって不都合な実験事実が公開されるかどうか疑わしい. 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.

受付番号: 201912200000958643

4-1. 2. 2. 3 原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用

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。本実験装置は、1 次元系 (細長いパイプ形状) の細長い水槽を用いて長さ方向に多くの圧力計を配置して、下方から高压ガスの解放という方法で外部トリガーを加え水蒸気爆発がどのように伝播・拡大していくかを調べることを目的としたものである。溶融物の質量も 2 から 5kg 程度であり、とても実機へ適用するのは難しい。KROTOS 実験は、熱的デトネーションが起こるか否かを調べるのが主たる目的で、必ずしも核燃料溶融物の水蒸気爆発の発生の有無を明らかにすることを目的とするものではない。

さらに、自発的な水蒸気爆発が起こらなかった理由は、水槽の容量が非常に小さいことにも理由の一つがあると推定され、水槽の水量は 9 リットルに満たない量である。このような水槽に、温度が 2800K から 3000K 程度の物質を 2kg から 5kg 投入するということは、溶融物の熱エネルギーの 4, 5 パーセントが、水に伝わるだけで、水温が飽和温度付近まで上昇する計算になる。さらに、円管壁の存在によって水の流動も著しく妨げられ水槽の温度むらの発生も予想される。つまり、KROTOS 実験では、初期状態を常温程度 (高サブクール度) の水としても、膜沸騰で沈降中に水温が上昇し、沈降中に低サブクール度となり、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。結局、水量が少ないため、投入後水温が上昇して低サブクール度水となり、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。水温が上昇して、自発的な水蒸気爆発が抑制され、水蒸気爆発が起こらなくなっている可能性がある。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。電力会社資料 (東北電力株式会社ほか、重大事故対策の有効性評価に関わるシビアアクシデント解析コード (第 5 部 MAAP) 添付 2 溶融炉心と冷却材の相互作用について、2015 年 6 月 p.5-2-17.) によれば、1999 年の文献でも 200mm となっている。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。KROTOS 実験の結果を引用するのであれば、どちらの水槽を用いた結果であるかを明記すべきである。一連の実験として扱うことは不適切である。以上いくつかの理由から KROTOS 実験の結果を実機に適用するには無理がある。

受付番号： 201912200000958651

4-1. 2. 2. 3 原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用

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 (例えば、庄司・高木 (水中落下溶融せずに生ずる小規模水蒸気爆発に関する実験的研究, 日本機械学会論文集 B 編 48(433)1982-09, p. 1771) によれば、大気圧下で行われたサブクール度 20K 以下の条件では水蒸気爆発は全く発生しておらず、サブクール度が大きいほど爆発発生確率も発生圧力も大きくなる傾向がある)。その理由は、低サブクール度の条件では高温溶融物を覆う膜沸騰蒸気膜内の水蒸気が凝縮しにくくなるためである。このことは、これまでの研究で十分確認されていることであり、わざわざ 8 回も実験を行う理由が分からない。水蒸気爆発が起こらないことを印象付けるために行われたと言わざるを得ない。

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 (D. Magallon et al., FCI Phenomena

Uncertainties Impacting Predictability of Dynamic Loading of Reactor Structures (SERENA programme), Workshop on Evaluation of Uncertainties in Relation to Severe Accidents and Level 2 Probabilistic Safety Analysis, Aix en Provence, France, November 7-9, 2005, p. 8) によると, L-33 の結果は, 論文中の図からは, 発生圧力が 10MPa を超えていることや, 圧力波が下方(水槽底部)から上方に向かって, 成長しながら 370m/s の速度で伝播していることが確認できる. これらの点から, L-33 の結果は, 水蒸気爆発が発生したとみなすべきであろう. ところが, 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. さらに, 2002 年から開始された, 過酷事故時の水蒸気爆発を対象とした SERENA 計画では, TROI 実験の TROI-13 (核燃料溶融物使用) や, KTROTOS 実験の 44 (アルミナ使用) の結果とともに, FARO 実験の番号 L-33 の結果を, 「爆発した場合」の例として, 解析コードによって解析し実験結果との比較を行っている. これらのことから, 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, 自発的な水蒸気爆発も複数回確認されている. TROI-10,12,13,14 は酸化ウランとジルコニアの混合物, TROI-15 ではジルコニアについても自発的な水蒸気爆発を確認している.

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(引用終わり)」と, その後 SERENA 計画で TROI 装置によって自発的な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 実験で自発的な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られる.

受付番号: 201912200000958702

4-1. 2. 2. 3 原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用

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(H.KIM et al., Results of the triggered steam explosions from the TROI experiment, NUCLEAR TECHNOLOGY VOL.158-17 JUNE 2007, pp.378-395.) 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(Vaclav Tyrpek(2012), Material effect in the fuel-coolant interaction: structural characterization of the steam explosion debris and solidification mechanism, Ph. D. Thesis, Univ. DE STRASBOURG) 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「Measured melt temperature 溶融物測定温度 (K)」と「Corrected melt temperature 補正溶融物温度 (K)」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(東北電力株式会社ほか, 重大事故対策の有効性評価に関わるシビアアクシデント解析コード(第 5 部 MAAP) 添付 2 溶融炉心と冷却材の相互作用について, 2015 年 6 月. p.5-2-1-3.) では「溶融物温度 (K)」 「~ 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。偽造、改竄と言われても仕方がない。今回は、東北電力が誤って書いたのではなく、原著とは異なる文献、しかも学位論文の従来の研究の調査一結果の表を使ったという点で、ある意味悪質のような気もする。

(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。高温溶融物の温度測定方法については、原著論文にも記述がある。

(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・労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（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）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。

受付番号： 201912200000958708

4-1. 2. 2. 3 原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用

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 (J.H.SONG et al., Insights from the Recent Steam Explosion Experiments in TROI, Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY, Vol.40, No.10, pp.783-795 (October 2003)) 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 (J.H.Song et al., Fuel coolant interaction experiments in TROI using a UO₂/ZrO₂ mixture Nuclear Engineering and Design 222 (2003) pp.1-15) 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なためであると推定される。すなわち東北電力の文書（東北電力株式会社ほか、重大事故対策の有効性評価に関わるシビアアクシデント解析コード（第 5 部 MAAP）添付 2 溶融炉心と冷却材の相互作用について、2015 年 6 月、p.5-2-1-3 .）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, SERENA REPORT (2017)15 Status Report on Ex Vessel Steam Explosion) によると、概要のところでは、

「(2) in most countries, if not all, the consideration of ex vessel steam explosion remains an open issue, mainly due to unresolved uncertainties;

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。

水張りは認めるべきではない。

受付番号： 201912200000958710

4-1. 2. 2. 3 原子炉压力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用

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（国際原子力機関）の技術出版物（IAEA TECDOC 1791, Considerations on the Application of the IAEA Safety Requirements for the Design of Nuclear Power Plants, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY VIENNA, 2016）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」の「APENDIX 4. LARGE STEAM EXPLOSION」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。（原文：For eliminating steam explosions that could damage the containment barrier, the preferred nating steam explosions that method is to avoid dropping of molten core to water in any conceivable accident scenarios.）水に落とすことを避けるべきであるとしている。権威ある国際機関の報告は傾聴すべきであろう。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（Seong Dae Park et al., HEAT REMOVAL CHARACTERISTICS OF IVR-ERVC COOLING SYSTEM USING GALLIUM LIQUID METAL, NURETH-16, Chicago, IL, August 30-September 4, 2015）。APR-1400 の水蒸気爆発対策として、液体金属で压力容器の外側を冷却する IVR-ERVC(External External Reactor Vessel Cooling)という方法を提案している。基本的には IVR で対応して、失敗時には水張りに対応すると理解される。

女川原発 2 号機のような BWR では压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（畠澤守ほか、ABWR の国内外への展開、東芝レビュー、Vol.65, No.12(2010), P.16.）。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。ずいぶん失礼な話しである。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。驚きである。

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 2 m、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（東北電力株式会社、女川原子力発電所 2 号炉重大事故等対策の有効性評価について、2019 年 2 月、p.83.）。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、3.9 m でもない 3.88 m 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(関西電力, 大飯発電所3, 4号炉原子炉下部キャビティ側面ライナプレートへの溶融炉心の接触防止対策について, 2015年7月14日, p.5.)。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。こんな審査は納得ができない。

受付番号： 201912200000958712

4-1. 2. 2. 3 原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用

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(BWR)で格納容器は「マーク改良型」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(東北電力株式会社, 女川原子力発電所2号炉重大事故等対策の有効性評価について2019年2月, p.65.)によるとは女川原発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。中止すべきである。

14. コリウムバッファという緩衝材の効果は疑問

2019年11月の東北電力の文書(東北電力株式会社, 女川原子力発電所2号炉重大事故等対策の有効性評価について補足説明資料, 2019年11月, p.補足43.3.3.)によると、水張りした水面直下にコリウムバッファ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」(森山ら, 蒸気爆発に関する実験的研究の概要, JAERI-Review 94-010, p.7(1994))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であろうか? 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、盲目的に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。このような子どもだましのような小手先だけの方法で「やっている感」を表すのは止めるべきだ。

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DESTAL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、私は、それほどのものでもないと思っはいます」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°C)を超える温度になる。とても使える技術ではない。