

# 加圧水型原発を保有する 4 電力会社の TROI 論文無視問題

2017 年 5 月 12 日

中西正之

## 1. はじめに

日本の原発は長い間絶対にメルトダウンは起きないと言われてきました。しかし、東日本大震災と大津波の発生により、福島第一原発の 1 号炉、2 号炉、3 号炉にメルトダウンが発生しました。そして、原子炉圧力容器から格納容器床上に落下した大量のデブリとコンクリートが反応する、熔融炉心-コンクリート反応 (MCCI) が起こり、大量のデブリがコンクリート中に潜り込んで、大量の放射性汚染水の発生原因となったと推定されます。

そこで、日本の原発を再稼働するためには、新規制基準で MCCI 対策が必要とされました。しかし、新規制基準では、MCCI 対策の具体的な方法が規定されませんでした。

このため、加圧水型原発を保有する 4 電力会社 (関西電力、九州電力、北海道電力、四国電力) は、MCCI 対策として、万一メルトダウンが発生した場合には、格納容器下部キャビティ (船底) に緊急に大量の水を貯水して、2600℃ になった 100 トンものデブリを水で冷却し、固化させて MCCI 対策を行う「奇策」を考え出し、一斉に設置変更許可申請書を提出しました。原子力規制委員会による適合性審査が始まると、このような「奇策」では、大水蒸気爆発が発生し、格納容器が破裂して、福島第一原発の過酷事故以上の放射性物質が放出されるのではないかという疑問が、適合性審査会で提出されました。

そこで、4 電力会社は、平成 25 (2013) 年 12 月 17 日の第 58 回適合性審査会に「資料 2-2-6 添付 2 熔融炉心と冷却水の相互作用について」を提出し、原発には水蒸気爆発が起こらない説明を行いました。この資料は、平成 26 (2014) 年 4 月 24 日の第 108 回適合性審査会の配布資料「資料 1-2-7 添付 2 熔融炉心と冷却水の相互作用について」[注 1]で一部改訂されました。

この適合性審査の配布資料では、熔融炉心と冷却水の相互作用 (FCI) の実験として、FARO 実験、KROTOS 実験、ALPHA 実験、COTERS 実験の 4 つの実験を取り上げています。

FARO 実験、KROTOS 実験は、欧州 JRC のイスプラ研究所で行われた実験です。

ALPHA 実験は、旧原子力研究所で行われた実験です。COTERS 実験は、(財)原子力発電研究機構がカザフスタン国立研究センターの施設を用いて行った実験です。

FARO 実験は、80%UO<sub>2</sub>+20%ZrO<sub>2</sub>、77%UO<sub>2</sub>+19%ZrO<sub>2</sub>+4%Zr の疑似デブリを使用しており、水蒸気爆発は起きてはいません。

KROTOS 実験は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の疑似デブリを使用しており、外部トリガー (引き金) 有りて 3 件の水蒸気爆発、トリガー無しで 7 件の水蒸気爆発が起きています。

81%UO<sub>2</sub>+19%ZrO<sub>2</sub>、80%UO<sub>2</sub>+20%ZrO<sub>2</sub>、79%UO<sub>2</sub>+21%ZrO<sub>2</sub> の疑似デブリを使用した場合は、外部トリガー有りて 3 件の水蒸気爆発が起きていますが、外部トリガー有りでも 5 件は水蒸気爆発が起きていません。

ALPHA 実験は、Fe+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の疑似デブリを使用しており、トリガー無しで水蒸気爆発が 12

件起きています。

SUS（ステンレス鋼）の疑似デブリを使用した3件は、トリガー無しで水蒸気爆発は起きていません。

COTERS 実験は、55%UO<sub>2</sub>+25%Zr+5%ZrO<sub>2</sub>+15%SS の疑似デブリを使用して、水蒸気爆発は起きていません。

そして、3.2-10 ページで、

「FCI 実験のうち、UO<sub>2</sub> を用いた FARO 実験、KROTOS 実験、COTERS 実験の3つの実験で水蒸気爆発が起きたのは、KROTOS 実験でトリガーを使用したものだけである。

実機は UO<sub>2</sub> を使用しており、KROTOS 実験のようなトリガーとなり得る要素は無いので、実機において大規模な水蒸気爆発に至る可能性は極めて小さいと考えられる。」

と説明しています。

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（酸化アルミニウム）の模擬デブリを使用した実験では、トリガーが無くても水蒸気爆発はいくらでも起きているが、それらは核燃料の UO<sub>2</sub>（二酸化ウラン）とは物性のかなり違う物質の水蒸気爆発であり、UO<sub>2</sub> を大量に含む疑似デブリの国内外の3プロジェクトの実験では、トリガー無しでは水蒸気爆発は起きていなくて、起きたのは意図的にトリガーを与えた場合である。そして、加圧水型原発にはトリガーは絶対にあり得ないので、この3件のプロジェクト実験例のみから、加圧水型原発には水蒸気爆発は起きることは無いとの驚くべき論理が展開されました。

新規制基準の適合性審査が先行した「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に関する審査書(案)」[注2]は、「これにより、規制委員会は、原子炉圧力容器外のFCIで生じる事象として、水蒸気爆発は除外し圧力スパイクを考慮すべきであることを確認した。」とし、原子力規制委員会はこの見解を全面的に承認しました。

しかし、この審査書案のパブリックコメントでは、「4 電力会社の申請案には、TROI 装置の実験例が意図的に削除されている」との意見が提出され、加圧水型原発を保有する4電力会社のTROI論文無視問題が発覚しました。

この意見にたいして、原子力規制委員会は、「九州電力株式会社川内原子力発電所1号炉及び2号炉の審査書案に対する意見募集の結果等及び発電用原子炉設置変更許可について(案)」[注3]の考え方で、

「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。」

との見解を発表し、九州電力の申請の擁護を行いました。しかし、その後も加圧水型原発を保有する4電力会社はTROI論文についての見解を明らかにしていません。

## 2. 沸騰水型原発を保有する4電力会社はTROIの実験結果も取り上げているが、原論文の論旨を無視し、勝手な解釈をしている

一方、沸騰水型原発を保有する4電力会社（東北電力、東京電力、中部電力、中国電力）は、共同で2015年6月9日の第236回適合性審査会に「資料1-4 添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について」[注4]を提出しています。

この資料は加圧水型原発を所有する電力会社4社が共同制作した資料[注1]をベースにして、TROIの実験結果が追加されています。

そして、基本的な論旨は継承されていますが、各プロジェクトで行われたFCIの実験の順番も入れ替わっており、そのあとにTROIの実験結果が追加されています。

TROIの実験結果が追加された事は評価できますが、実験結果のデータは電力会社に都合の良いところばかりが表示されています。また、実験結果の解釈も、TROIの原論文の論旨から逸脱しており、電力会社に都合の良いところばかりが説明されています。

この資料の5-2-5ページで

「TROI試験ではUO2混合物を用いた場合でもトリガー無しで水蒸気爆発が発生している例（TROI-10, 12, 13, 14）が報告されています。TROI-10, 12は、溶融物温度が3800K程度の高い温度での試験条件であります。また、TROI-13, ~~14~~14の溶融物温度は、それぞれ2600K, 3000Kであるが、TROI-13では、温度計測に問題があり実際には3500K以上と推測されています。また、TROI-14では、二つの温度計が異なる最高温度（4000K, 3200K）を示しており、温度計測の不確かさが大きいとされています。以上を踏まえると、TROI試験の溶融物温度はかなり高い試験条件と考えられ、他の試験で想定しているような実機条件に近い溶融物温度では水蒸気爆発の発生可能性は十分小さいと考えられる。」

と原子力規制委員会の見解を詳細に説明しています。

ただ、この資料では可能性は少ないと説明していますが、起こらないとは断定していません。そして、この後東京電力は、万一水蒸気爆発が起きた場合を想定し、ペDESTALに貯水する貯水量の限度を検討しています。

### 3. 高島武雄氏が岩波書店の「科学」でTROI問題を明確に指摘した

高島武雄氏が、岩波の「科学」2015年9月号、2015年11月号の論文でTROI問題を指摘されました。

高島忠雄、後藤政志「原子炉格納容器の水蒸気爆発の危険性」岩波の「科学」2015年9月号の論文[注5]は、水蒸気爆発の原理から、原発の格納容器内の水蒸気爆発の問題が国内の科学雑誌で初めて発表された貴重な論文と思われます。この論文の中に、TROI問題がかなり詳しく説明されています。また、高島忠雄「格納容器の水蒸気爆発の危険性についての補足」岩波の「科学」2015年11月号の論文[注6]は原子力規制委員会のTROI実験の見解や沸騰水型原発を所有する電力会社のTROI実験の見解についての批判がおこなわれています。

## 4. TROIの2002年論文と2003年論文

### (1) TROIの2002年論文と2003年論文の概略

TROI実験の論文は2002年と2003年に2通の論文が別々の科学誌に発表されています。

2002年の論文は、「Spontaneous Steam Explosions Observed In The Fuel Coolant Interaction Experiments Using Reactor Materials」[注7]であり、2003年の論文は、「Insights from the Recent Steam Explosion Experiments in TROI」[注8]であり、それぞれインターネットに公開されています。

2002年の論文は「Journal of the Korean Nuclear Society Volume 33, Number 4, pp. 344-357, August, 2002」に掲載されており、2003年の論文は「Journal of Nuclear Science and Technology」に掲載されており、掲載誌が別々ですが、この2通の論文は同じように継続された論文です。

2通の論文の日本語訳を参考のために添付します（原発なくす蔵の【資料】に掲載）。

TROIの実験は、OECD（経済協力開発機構）のSERENAプロジェクトとして、国際的な支援を受けて、韓国で長期に行われている原子炉の水蒸気爆発のモデル実験です。日本でも、水蒸気爆発の実験はALPHA実験やCOTERS実験を行っていますが、熔融温度が低くて、比較的疑似デブリを簡単に熔融する実験なので、TROIの実験のように熔融温度が実炉に近いような精密な実験は行われてはいません。

しかし、日本もOECDの加盟国なので、SERENAプロジェクトとして、TROIの実験結果の詳細な報告を受けて、コンピュータソフトの開発は行っているようです。[注9]

東北電力、東京電力、中部電力、中国電力4社の共同作成資料や2つの高島・後藤論文を読んでもなかなかTROIの実験の肝心な部分が良く理解できませんが、この2通の論文を読むとかなりな事が分かります。

そういう意味では、今日に至っても、加圧水型原発を所有する4電力会社が国際的には非常に有名と思われるTROIの論文を無視し続けたままで、原発の再稼働を強行しようとするのか理解に苦しみます。

## (2) どうして、実炉に類似の疑似デブリの実験で水蒸気爆発が少なかったのか？

TROIの論文では、実炉に類似のUO<sub>2</sub>+ZrO<sub>2</sub>の疑似デブリは、融点が2800℃にもなり、完全に溶かすことが技術的に難しく、TROIの実験でも初期の頃はUO<sub>2</sub>+ZrO<sub>2</sub>の疑似デブリは十分に溶けないままに実験を行っており、それが原因でトリガーの無い実験では水蒸気爆発がなかなか発生しなかったと推定しています。

TROIの実験では、初めの頃は自発的な水蒸気爆発は起きていません。その理由がTROIの2002年論文の352ページ4.3 デブリ分布で、次のように説明されています。

### 『4.3 デブリ分布

TROI-11試験では、熔融温度が3100℃を超えていましたが、自発的な蒸気爆発は生じませんでした。だから、私たちはデブリ構成を見て、非爆発性相互作用の理由を調べました。試験後、放出された熔融物を収集し、調べました。水のプールから回収された破片には、元の形状の多くのUO<sub>2</sub>ペレットが観察されました。これは、熔融物の表面温度が、コリウム混合物を熔融するのに十分に高いと測定されましたが、混合物は、短い熔融時間のために完全に熔融されなかったことを示します。この試験で蒸気爆発が起らなかったのはこの原因かもしれません。』

この事が起きたのは、2つの原因があります。

1つ目の原因は、UO<sub>2</sub> (二酸化ウラン) の融点は2865°Cで、ZrO<sub>2</sub> (ジルコニア) の融点は2715°Cであり、UO<sub>2</sub> (二酸化ウラン) を十分に溶かすことが技術的にきわめて難しい事です。

電気炉を使用すれば、熔融物の温度を3000°C位にまで加熱して溶かすことは比較的簡単にできます。しかし、炉の中でUO<sub>2</sub> (二酸化ウラン) を3000°Cまで熔融しようと試みれば、炉の壁も溶けてしまいます。

そのために、日本で行われた水蒸気爆発の実験は、実炉のデブリよりもはるかに融点の低いAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (アルミナ) や金属のZr (ジルコニウム) やFe (鉄) 等を使用して、十分に溶かしているのに、トリガーが無くても水蒸気爆発が起きているのです。

TROIの試験装置は水冷の銅製るつぼを使用した特殊な誘導電気炉で、初めて3000°CでUO<sub>2</sub> + ZrO<sub>2</sub>の疑似デブリの十分な溶解に成功しているようです。

工業炉の世界では、3000°Cもの熔融温度に耐えられるのは水冷の銅製ジャケットしかないと言われていますが、TROIの試験装置は超高温炉の最高技術を使用して初めて得られた成果と思われまます。

2つ目の原因は、3000°Cもの超高温に成ると、熔融物の温度測定が非常に難しい事です。

TROIの実験は、初めの頃はChino製の光学2色温度計 (1100°Cから3100°C) を使用しています。疑似デブリの試験後の溶解比率を比べると、良くは溶けていないものも多かったのに、指示温度は非常に高くなっていた事が分かってきました。そこでTROI-14の試験では、Chino製の光学2色温度計とIRCONの光学2色温度計を併用しました。すると、IRCONの光学2色温度計の指示温度はChino製の光学2色温度計の指示温度よりも約600°Cほど低くなりました。

どちらの温度計の指示温度が正しいのかは分かりませんが、3000°Cのような超高温の世界ではこのような事は良くある事です。普通の場合には、必ず加熱物の物性の変化を事後調査し、温度計の指示温度と加熱物の物性の変化から推定される温度の比較を行い、試験温度の確認を行います。

### (3) TROI実験の実験設備と実験方法

TROIの2002年論文と2003年論文は発表の期間が1年間ずれていますが、別々の雑誌に投稿されたので、説明のかなりな部分はダブっています。

そのために、両方の論文から、説明を行います。

この設備の優れている処は、水冷るつぼによる溶解方法にあります。

良く設計された銅製の水冷るつぼが使用されています。また、原子炉にメルトダウンが発生した時には、熔融デブリの主成分は核燃料のUO<sub>2</sub> (二酸化ウラン) と燃料被覆管やそれらを支持する設備に使用されるZr (ジルコニウム) 金属になります。金属のZrの融点は1855°Cですが、水蒸気と反応して、水素を発生しながら融点が2715°CのZrO<sub>2</sub>に変化します。

この実験では、UO<sub>2</sub>ペレットを主体にし、そのペレットの隙間や下部、上部の断熱材にはZrO<sub>2</sub>の粉末を使用しています。

ただ、これらの物質は低温度では、通電率が小さく、電子レンジと同じような誘導電流での加熱が難しくなります。そこで、この設備では2002年の論文の347ページに「初期装入物

の質量は、UO<sub>2</sub>ペレット70重量%とZrO<sub>2</sub>粉末30重量%とで約14kgです。るつぼの真ん中に重量0.1kgのZrリングを入れます。これは開始剤として使用されます。」と説明されているように、試験の開始時には、金属の重量0.1kgのZrリングに通電を行い、このZrを一番初めに溶かし、これを種にして周りのUO<sub>2</sub>ペレット70重量%とZrO<sub>2</sub>粉末30重量%の温度を上げて、電気が通るようにして溶かしていきます。

疑似デブリが溶解すると、それを下部の試験用水槽の中に落としこむ必要が有りますが、これも難しい技術です。この論文では、円錐形のパンチャーを使用すると説明されていますが、詳しい説明はありません。

鉄の製錬を行う高炉では、高炉の中に溜まった大量の溶融鉄を炉外に定期的に流し出すために、マッドガンという設備を使用しますが、それと同じような小型の設備と思われます。

水を貯めた水槽が、圧力タンクの中に設置されています。

水を貯めた水槽は、初めは透明なプラスチック製のものを使用して、水蒸気爆発の状態を撮影していたようですが、水蒸気爆発が起きると、透明なプラスチック製の水槽はバラバラに飛び散ってしまうので、TROIの2002年論文では、TROI-6の試験では水槽は、ステンレススチール製の円筒とし、壁の厚み5mm、底の厚み10mmに変更しています。それでも水蒸気爆発により壊れてしまったので、その後はステンレススチール製の円筒で、壁の厚み2cm、底の厚み3cmに変更しています。そして、円筒の高さは150cm、内径は60cmになっています。

TROIの実験は、水槽内の水圧と圧力タンク内の気層の圧力の両方を測定しています。

また、水槽にかかる反動荷重を最大25トンの荷重計で測定しています。

そして、水槽内の水圧と水槽にかかる反動荷重の測定値は驚くほど巨大な力がかかっていますが、それらは電力会社の資料からは削除され、隠ぺいが行われています。

#### (4) 自発的な水蒸気爆発の発生

熱的特性がUO<sub>2</sub>とよく似てはいるが、融点が150℃低く比較的には溶かしやすい、ZrO<sub>2</sub>のみの模擬デブリの実験であるTROI-5、TROI-6、TROI-15の実験では、トリガーが無くても、自発的な水蒸気爆発が発生しています。また、TROI-13、TROI-14は、69%UO<sub>2</sub>+30%ZrO<sub>2</sub>+1%Zrの疑似デブリを使用しており、実炉のデブリとよく似ています。TROI-13の試験温度は2327℃、TROI-14の試験温度は2727℃と報告されていますが、トリガーが無くても、自発的な水蒸気爆発が発生しています。

TROI-13の試験温度は、TROIの2002年論文では3027℃以上と報告されており、2327℃はTROIの2003年論文で訂正されたものです。

論文の全体をよく読むと、原子力規制委員会の見解と、沸騰水型原発を所有する4電力会社の見解は誤りであることが良く分かります。

#### (5) 動的な圧力と衝撃

TROIの2002年論文の図8を見ると、TROI-13の実験で水蒸気爆発が起きた時の水槽内の水の圧力は7MPa（70気圧）になっている事が分かります。また、図9を見ると、直径が60cmの水槽の荷重計の測定値が250KN（25トン）と巨大な荷重が測定されています。

この容器の底の面積は、直径が60cmの円盤なので2826cm<sup>2</sup>となり、8.8気圧の爆発反力を受けている事が分かります。反動力だけでもこれだけの巨大な力が働いています。

これらの測定値は、沸騰水型原発を所有する4電力会社の資料からは削除されています。

加圧水型原発を所有する4電力会社の資料には、もともとTRO1の実験結果は意図的に削除されています。

また、TRO1の2003年論文ですが、報告書の793ページの図15には、TRO1-13の実験での実験装置格納容器の圧力の測定値が記録されています。PVSP002とPVSP003は貯水された水とは直接接しない気層での測定圧力ですが、水蒸気爆発の発生時には、0.124MPa(1.24気圧)にしかなっていません。

原子炉の実炉に比べると、実験モデルの大きさが極めて小さいのですが、冷却水と接している部分には巨大な力がかかるが、そこから遠く離れた気層部分の壁にはあまり大きな力はかからないということかと思われます。

このことは、格納容器下部のキャビティに貯められた水の量が少なければ、格納容器が破裂してしまうほどの衝撃は受けにくい、キャビティに水が満杯になっているようなときにメルトダウンが起きると、キャビティや格納容器も吹き飛んでしまう事が有るという事を意味しているように思われます。

## (6) デブリ分布

TRO1-11、TRO1-13、TRO1-14、TRO1-15の実験後採取したデブリ粒の分布のデータが掲載されています。

デブリは水中に落下しているので、何れも粒になっています。ただ、水蒸気爆発が起らなかったTRO1-11の実験では、0.425mm～0.71mmの粒子や0.425mm以下の微粒子の重量含有率は小さいのですが、水蒸気爆発の起きた他の実験ではこれらの重量含有率が増えています。特に0.425mm以下の微粒子は、水蒸気爆発が起きて、格納容器が破裂するような事が有ると、原子炉燃料が風にのり遠方まで飛び散って、多くの住民の肺の中に入ってしまうので、チェルノブイリや福島の過酷事故で経験した放射性物質の放出からの被害とは比べ物にならないような被害が発生する事が予測されます。大切なデータと思われます。

## 5. まとめ

加圧水型原子炉を保有する電力会社4社（関西電力、九州電力、北海道電力、四国電力）は、加圧水型原子炉の製作会社の三菱重工業社と共同で、新規制基準に対しての設置変更許可申請書の基本的な部分を共同で作成してきました。

日本の原発はほとんど、沸騰水型原発か加圧水型原発かのどちらかで建設されてきました。しかし、沸騰水型原発は、福島第一原発で1号炉、2号炉、3号炉でメルトダウンが起きて大量の放射性物質が大気中や地中に放出され、大変な被害が発生しました。そのために、原子力規制委員会も地元住民も、沸騰水型原発については、厳しい目を注いできたので、再稼働の為の新規制基準に適合するための設置変更許可申請書の提出も遅れ、適合性審査も遅れてきました。一方、加圧水型原子炉については、過酷事故を起こした原子炉とは基本設計の違

う原子炉という事で、原子力規制委員会も地元住民も、沸騰水型原子炉と比べると比較的甘く対応してきました。

そこで、加圧水型原子炉を使用する電力会社4社とその製作会社の三菱重工業社は、新規規制基準に適合させるための過酷事故対策については、原子炉の改造工事にかかる費用を少なくし、工事期間も短くなるような「奇策」を採用しました。これは、基本的には、安全の問題は二の次として、新規規制基準に対して法律違反さえしなければかまわないだろうという考え方です。その最大の手段が、福島第一原発のようなメルトダウン事故が発生した場合は、原子炉本体の冷却は放置し、緊急に格納容器に大量の水を貯水して、原子炉本体から格納容器に落下した2600℃にもなる100トンものデブリは水で冷却し、MCCI（コアコンクリート反応）を防止する策であり、「手抜き」としか思われません。

こんな基本方針で、関西電力、九州電力、四国電力、北海道電力は各原子炉の設置変更許可申請書を提出しました。適合性審査が始まると、このような対策では、水蒸気爆発が起こり、格納容器が破損するのではないかという意見が、原子力規制委員会側からも提出されました。

元々、福島第一原発では水素爆発が起きて大惨事になったという事もあり、水素爆発対策は新規規制基準に新しく採用されましたが、水蒸気爆発対策は新規規制基準には採用されていなかったもので、法律違反では無かったのですが、規制委員会側担当官からもさすがに危ないのではないかとの話が出てきました。

このため、各原子炉の設置変更許可申請書の作成時には検討をされていなかった、水蒸気爆発問題の検討書を電力会社4社と三菱重工業との5社共同で作成し、第58回適合性審査会に「資料2-2-6 添付2 熔融炉心と冷却水の相互作用について」を提出しました。しかし、この資料には、国際的なOECD（経済協力開発機構）のSERENAプロジェクトのTROI実験の資料は隠ぺいされていました。

ところが、川内原発1・2号炉の設置変更許可書案のパブリックコメントで専門家から指摘され、その後の高浜原発3・4号炉、伊方原発3号炉、玄海原発3・4号炉、大飯原発3・4号炉のパブリックコメントでも相次いで指摘がなされ批判は続いています。

この件に関して、原子力規制委員会は必死で弁明を行っていますが、4電力会社は知らんふりを決め込み弁明を行おうともしません。そして、前提となる水蒸気爆発は起こらないとされたので、仮に水蒸気爆発が起きた時、格納容器が破裂するのか破裂しないのかの検討も、当然行われてはいません。このような酷い状態で、加圧水型原発の再稼働は進められようとしています。疑問を感じずにはられません。

#### ◆参考論文

[注1]2014年4月24日の第108回適合性審査会の配布資料「資料1-2-7 添付2 熔融炉心と冷却水の相互作用について」 <https://www.nsr.go.jp/data/000035733.pdf>

[注2]「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に関する審査書(案)」

<https://www.nsr.go.jp/data/000070038.pdf>



[注3]「九州電力株式会社川内原子力発電所1号炉及び2号炉の審査書案に対する意見募集の結果等及び発電用原子炉設置変更許可について(案)」平成26年9月10日

<https://www.nsr.go.jp/data/000048040.pdf>

[注4]2015年6月9日の第236回適合性審査会に「資料1-4 添付2 熔融炉心と冷却材の相互作用について」 <https://www.nsr.go.jp/data/000109849.pdf>

[注5]高島忠雄、後藤政志「原子炉格納容器の水蒸気爆発の危険性」岩波の「科学」2015年9月号 <https://drive.google.com/file/d/0B78Zj1R0eNA-aGpPM1NyV0p5WkE/view>

[注6]高島忠雄「格納容器の水蒸気爆発の危険性についての補足」岩波の「科学」2015年11月号

[注7]Jin Ho Song et al. : Spontaneous Steam Explosions Observed In The Fuel Coolant Interaction Experiments Using Reactor Material, Journal of the Korean Nuclear Society Volume 33, Number 4, pp.344-357, August, 2002

<https://www.kns.org/jknsfile/v34/A04803285962.pdf>

[注8] Jin Ho Song et al. : Insights from the Recent Steam Explosion Experiments in TROI, Journal of Nuclear Science and Technology, 40:10, 783-795

<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/18811248.2003.9715420>

[注9]Nuclear Safety NEA/CSNI/R(2014)15 February 2015 :OECD/SERENA Project Report <https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2014/csni-r2014-15.pdf>