

## TROI 論文の解説

2017年5月19日

中西正之

### 1. TROI 論文には水蒸気爆発をした後採集したデブリ粒の分布のデータが掲載されている

加圧水型原発は、川内・伊方・高浜原発で既に再稼働されていますが、何かの原因でメルトダウンが発生し、今計画されている「奇策」によりメルトダウン対策を行ったとすると、格納容器内で大規模な水蒸気爆発が起きる可能性があります。その際、格納容器が吹き飛んだ場合、水蒸気爆発で微細化したデブリがどのように大気中に飛散し、それらが住民の人体にどのような影響を与えるのかは、電力会社の資料では殆ど報告されていません。

また、インターネットで、水蒸気爆発した後に採集したデブリ粒の分布のデータを調べてみても、殆どデータが見つかりません。

しかし、TROI 論文には水蒸気爆発をした後に採集したデブリ粒の分布のデータが掲載されています。

\*\*\*\*\*

#### TROI論文より (6) デブリ分布

TROI-11、TROI-13、TROI-14、TROI-15の実験後に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TROI-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前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

\*\*\*\*\*

水蒸気爆発が起きたTROI-13のデータでは、発生した全デブリ重量に比べて、0.425mm以下の微粒子量は、重量比で19%もの大量になっています。

これらの微粒子は水蒸気爆発によって細粒化したと結論されています。

これらの0.425mm以下の微粒子のミクロン単位の重量比は報告されていません。

しかし、黄砂が中国の砂漠で発生し、高層気流に乗って北部九州まで大量に運ばれてくることから良く分かるように、仮に玄海原発で水蒸気爆発が起きたとすれば、水蒸気爆発で大量に発生した0.425mm以下の微粒子は九州や四国・中国地方に大量に運ばれ、多くの人の肺の中まで入る事が心配されます。

この事をよく検討する必要があると思われま

## 2. TROI 論文の自発的な蒸気爆発とは

TROI 論文 2002 年版の冒頭に、spontaneous steam explosions（自発的な蒸気爆発）の説明があります。

元々は、spontaneous steam explosions の意味は、外部トリガーが与えられなくても、内部トリガーによって起きる水蒸気爆発という事だと思われます。

一般に爆発の現象では、連鎖反応が短時間の間に発生し、爆発物が急激に体積膨張し、衝撃波を伴い、まわりの器具や建物を破壊します。

水蒸気爆発の場合は、水と接触した高温の溶融金属や核燃料デブリが小豆大程度に粒状化した時、溶融物の周りは安定化した水蒸気膜で全面をおおわれるが、どれかの粒が何かの原因（トリガー）で水蒸気膜が剥がれると、溶融物と周りの水が直接接触し、急激な水の蒸発が起き、それで発生した圧力波が周りの粒子の水蒸気膜をはがし、又溶融粒を粉碎し、溶融粒子の接触面積を拡大し、短時間に連鎖反応を起こす現象です。

<http://www.kz.tsukuba.ac.jp/~abe/research/vapor/main.htm>

水蒸気爆発の実験を行うと、水の中に溶融金属や溶融デブリを落とし込んでも、水蒸気爆発が起こる場合も有るが、起きない場合も有るそうです。

これは、実験では内部トリガーだけでは、連鎖反応が開始されない場合があるという事だと思います。

確実に水蒸気爆発を起こして、水蒸気爆発を再現し、水蒸気爆発の条件を解明する為には、デブリが水中に落下しているときに、アルゴンガスを水底に吹き込んだり、水中で衝撃を与えたりする外部トリガーを与えます。そうすることにより、水蒸気爆発の発生の可能性を高めています。

原子炉にはメルトダウンが発生する可能性があり、水蒸気爆発が起きて、原子炉圧力容器本体や格納容器を破壊して、放射性物質が原子炉建屋から外気中に放出される可能性がかなり有る事が分かって、水蒸気爆発の研究が始まりました。

初めは、融点が低く、溶融が比較的簡単にできる鉄や非鉄の金属類の疑似デブリから実験が始まったので、外部トリガーなしでも、水蒸気爆発は起きていたようです。

しかし、疑似デブリが ZrO<sub>2</sub>（ジルコニア）や UO<sub>2</sub>（二酸化ウラン）のような融点の高いものになると、内部トリガーなしの試験では、水蒸気爆発が起こらず、外部トリガーを与えて、水蒸気爆発の発生ができたようです。

さらに、TROI の実験では、UO<sub>2</sub>+ZrO<sub>2</sub> の完全な溶解に成功したようで、内部トリガーだけで水蒸気爆発を発生させることができています。

TROI の実験では、内部トリガーは、疑似デブリが水中に落下し、試験水槽の床に衝突した時、何らかの形で発生しているようです。

## 3. TROI-13 の溶解温度の検討

TROI-13 の溶解温度は 2002 年論文では 3300K(3027°C)以上と記されています。しかし、2003 年論文では 2600K(2327°C)と記されています。

2003年論文では、なぜこのような700°C以上も異なる低い温度に訂正されたのかの説明がありますが、この説明は不十分と思われます。

TROIの実験の疑似デブリの溶解方法は、図-1と図-2と2002年論文・2003年論文で説明されています。

水冷るつぼの内径は14cmと驚くほど小さいつぼですが、その水冷るつぼでUO<sub>2</sub>のペレットとZrO<sub>2</sub>のパウダを2800°C程度の超高温で溶解しています。実炉では、UO<sub>2</sub>のペレットをZrの被覆管で包んでおり、Zrの被覆管はジルコニウム-水反応で水素を発生し、ZrO<sub>2</sub>に変質するので、TROIの実験の疑似デブリは実炉と非常に良く似た実験になっていると推定されます。

熔融温度を推定するためには、UO<sub>2</sub>とZrO<sub>2</sub>の二成分系の正確な状態図が必要に思われますが、TROI論文には明示されていないようです。

「模擬デブリを用いた熔融燃料の物性の研究、日本原子力研究開発機構、2012年10月15日」[注1]という論文があります。その中のUO<sub>2</sub>とZrO<sub>2</sub>の二成分系の状態図を参考にすると、UO<sub>2</sub>のペレットの融点は2865°Cです。そこで、TROI-13のように、初めにZrが溶けて、それを種にしてUO<sub>2</sub>とZrO<sub>2</sub>が同時に混ざって溶けあう場合には、最低2600°Cで溶ける可能性はあると思われます。

よって、TROI-13の溶解温度は2600°Cから2800°C程度と推定されます。

また、実炉においても、加圧水型原子炉の場合は、原子炉が緊急停止してからメルトダウンが始まるまでの時間が沸騰水型に比べて非常に短く、未だ崩壊熱も大量に発生しているので、デブリの推定温度も2600°Cから2800°C程度と推定されますから、TROI-13の推定溶解温度とほぼ同じです。

以上から、「TROIの実験の温度は、実炉よりも非常に高く、加熱しすぎたため、内部トリガーだけでも水蒸気爆発が起きた」との、原子力規制委員会が初めて提唱し、沸騰水型原発を所有する4電力会社（東北電力・中部電力・北陸電力・中国電力）が追認した見解は間違いと思われます。

#### 4. 水蒸気爆発の内部トリガーは落下デブリがプールの床に衝突するとき発生する事が多い

加圧水型原発を所有する4電力会社（関西電力・九州電力・四国電力・北海道電力）は、TROIの実験を無視して、「これまでの内外の水蒸気爆発実験では、UO<sub>2</sub>（二酸化ウラン）を主体とするデブリを使用した実験の場合、外部トリガーを与えなければ、自発的な水蒸気爆発は起こらない。そして、実炉では外部トリガーは存在しないので、絶対に水蒸気爆発は起こらない。」と説明してきました。

しかし、TROIの実験では、内部トリガーにより、自発的な水蒸気爆発が何回も起きています。そして、この実験では、内部トリガーが何か説明されています。

TROI論文2002年版の「4.2 動的な圧力と衝撃」の項に説明が出てきます。

TROI-13では、熔融の為の通電開始後1時間50分でデブリの溶解ができて、パンチャーで水冷るつぼ下部のZrO<sub>2</sub>粉の仕切りを打ち抜いて、デブリを落下させています。パンチャーの作動後、1133ミリ秒でデブリは水面に着水し、1213ミリ秒で床に衝突し、1220ミリ秒で水蒸気

爆発の開始圧力が測定されたと報告されています。

この結果から、内部トリガーがどのようなメカニズムで発生するかの説明はありませんが、何らかの理由で内部トリガーが発生し、それが引き金となって、衝撃波が発生し、連鎖反応が起きて、水蒸気爆発が起きたと推定されています。

これは、サンデアで行われた実験の映像でも同じ事が観察されています。

<https://www.youtube.com/watch?v=sk-I128A13M>

九州電力が玄海原発3・4号炉の適合性審査で説明し、原子力規制委員会がそれを承認してきた「奇策」を許してしまうと、玄海原発3・4号炉が再稼働され、万一何かの原因でメルトダウンが起きた場合、北部九州や中国・四国地方はデブリの粉まみれになる可能性が有るのではと非常に危惧しています。

#### ◆参考文献

[注1] 「模擬デブリを用いた溶融燃料の物性の研究、日本原子力研究開発機構、2012年10月15日」 [http://www.aesj.or.jp/~fuel/Pdf/WG\\_Meltdown/WG\\_Doc/20121015\\_WG-6-2\\_Kato.pdf](http://www.aesj.or.jp/~fuel/Pdf/WG_Meltdown/WG_Doc/20121015_WG-6-2_Kato.pdf)