

原子炉建屋の水素爆発が想定外だったのは何故？

今回の原発事故で、原子炉建屋で水素爆発があった訳ですが、そもそも、このような危険性を事前に想定していた専門家は居なかったのか？それは何故か？というのが、このメモを書いた理由です。

軽水炉で、炉心の冷却ができなくなり、炉心が水から露出するような事故、つまり、過酷事故が起きると、ジルコニウム被覆管が酸化して、大量の水素が発生することは、原子炉安全専門家の常識でした（下記解説）。実際、1979年の米国 TMI 原発（スリーマイル島 PWR）の事故で、格納容器内の水素爆発が起きました。

安全評価審査指針 付録解説
 3.4.2 可燃性ガスの発生（PWR, BWR）
 1979年に発生したTMI事故では、金属－水反応によって発生した水素が原子炉格納容器内に放出され、空気と混合して引火し急激な燃焼を起こした。金属－水反応によって水素が発生すること、及び水の放射線分解によって酸素と水素が発生することは、TMI事故以前からも広く知られていたところである。

また、経産省傘下の機関が出したデータの一部を、国内の 3/15 発行の No.2 メモに載せました。炉心冷却ができなくなると、数時間で大量の水素が発生することが示されています。

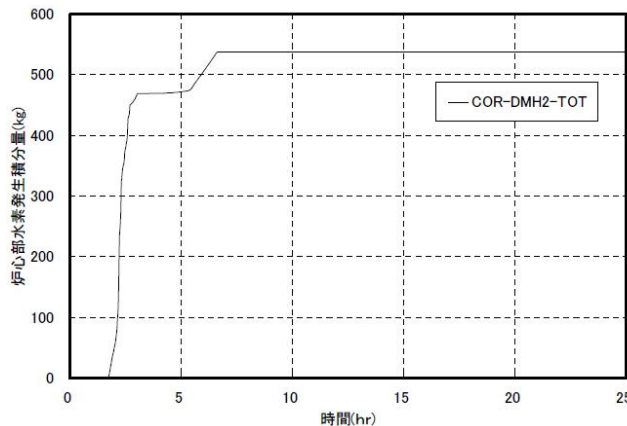


図 2.4 (I) 炉心部水素発生量（ケース 2：MSLB、強制減圧なし）

「改良型軽水炉のシビアアクシデント対策に係る検討」原子力安全基盤機構、2009年

なお、2001年11月には、浜岡1号機（BWR）で、配管内の水素爆発があり、1ヵ月後の12月には、ドイツ・ブランズビュッテル原発（BWR）でも、配管内で水素爆発がありました。この2件の事故での水素は、炉内で放射線により水が分解されたものであり、いわゆる過酷事故による水素発生とは、原因が異なり、また発生量も僅かでした。

（右写真：浜岡1号機の直径10cm程の配管で水素爆発）



所で、TMI 原発事故では、格納容器が大きいことや、水素発生はあっても酸素発生が少ないこともあって、水素爆発は格納容器破壊に至るような重大事象と認識されませんでした。また、殆どの BWR では、格納容器内に窒素封入しているため、水素爆発は深刻な事

象と認識されませんでした。

つまり、軽水炉で大量の水素が発生しても、原子炉建屋に蓄積して水素爆発する危険性は認識されていなかった、ということです。

例えば、米国 NRC（原子力規制委員会）が出した過酷事故に対する下記の重要な報告書にも原子炉建屋での水素爆発に関する記載がありません。（NUREG-1150「An Assessment for Five Severe Accident Risks」）。

他にも、2010 年の米国原子力学会での総括報告「Thirty years of Research on Hydrogen Explosion Hazards in the Nuclear Industry」では、上記 3 件の水素爆発事故が紹介されただけです。

さらに、日本でも、原子力安全委員会の WG が出した下記報告書で、同様の記載になっています。

格納容器問題検討 WG 報告書（案）2009 年

電力会社が実施したアクシデントマネジメント策の整備においては、不活性化された BWR 格納容器については、水素燃焼に関する対策は格納容器破損頻度の低減のために必要とは判断されず、JNES が実施した検討においても同様な結論であった。

また、米国でも、不活性化された BWR 格納容器について議論された際に、シビアアクシデント時の格納容器破損確率に基づく検討によって、水素の燃焼は格納容器の短期的な健全性に対する脅威事象ではないことが結論づけられた（SECY-00-0198 等）。

（なお、この記述の後に、格納容器から漏洩した可燃性ガスの格納容器外での燃焼の可能性についての記載があるが、結局「格納容器の模擬実験データから漏洩は生じない」と結論している。）

ネットで検索した所では、唯一、フィンランドの研究機関の論文「Simulation of hydrogen deflagration and detonation in a BWR reactor building(2002 年)」で、BWR 格納容器の貫通部などから水素が原子炉建屋内の一室（右写真の部屋を想定）へ漏洩し、水素爆発する事象を模擬計算しているだけです。

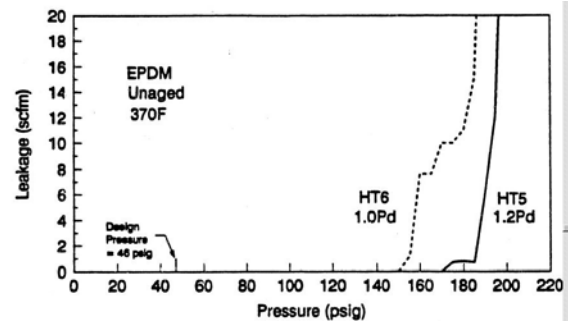


つまり、格納容器の健全性を守ることが重要と考えられ、原子炉建屋での水素爆発の危険性は認識されていませんでした。また、NRC は、浜岡原発での水素爆発事故から、配管内の水素爆発を防止する対策は示しているものの、原子炉建屋での爆発を想定した指針は出していないようです。

以上のように、さすがの NRC も、過酷事故時に大量の水素が発生することが分かっているにもかかわらず、PWR も BWR も水素爆発による危険性はない、と結論しました。つまり、原子炉建屋の水素爆発は想定外だった訳です。

では、原子炉建屋の水素爆発を想定外とした理由は何でしょうか？考えられる原因は、格納容器さえ守れば良いという思想からは、格納容器から水素が漏洩し、原子炉建屋で爆発する、というシナリオは発見できない、ということです。

格納容器からの漏洩は生じないという模擬実験データがあったことも、ある意味で不幸でした。約 200°Cでは 10 気圧まで、機器ハッチでの漏洩は起きないとの結果が得られています。但し、試験した気体は窒素などで、水素は試験されておらず、このことから、水素漏洩を想定していなかったことが伺えます。



「Evaluation of the Leakage Behavior of Pressure Unseating Equipment hatches and Drywell Heads」
M. B. Parks et. al., Sandia National Laboratories, 1990

システムに如何なるハザード（潜在危険）があるか？ということは、コンピュータでは計算できません。人間の頭脳だけが発掘できることです。言い換えれば「見落とし」ということになります。

もう一つの理由は、BWR で発生する水素は、格納容器からのベントで外部へ放出できる、と考えたのかも知れません。実際、今回の福島事故では、ベントにより、ある程度の水素を放出しました。しかし十分ではなく、原子炉建屋での水素爆発が起きました。

今回の事故で、「想定外」と言われたものには、巨大地震や巨大津波、ステーションブラックアウト（SBO:全電源喪失）や、また、これらの結果としての炉心損傷などがあります。この内、巨大地震や巨大津波については、一部の地震学者・津波学者によって、危険があることは知られていました。また、地震・津波・SBO を起因事象とした炉心損傷の危険性については、経産省傘下の機関が既に報告書を出していました。これらの危険を知らなかったとすれば無知という失敗ですし、知っていて対策しなかったのならば、リスク（被害の大きさと発生確率）を正しく判断できなかったという失敗であり、いずれにしろ、真の「想定外」ではなかったと思います。一方、ここで取り上げた原子炉建屋の水素爆発に関して事前に警告を発した専門家は（ネットで調べた限りでは）居なかったようです。

以上まとめると、原子炉建屋の水素爆発が想定外になってしまった理由は、

- ①PWR は、格納容器が大きいこと等もあって、水素爆発で格納容器破壊には至らない。
 - ②殆どの BWR は、格納容器内に窒素封入しているため、格納容器内で水素爆発はない。
 - ③格納容器さえ守れば良いという思想からは、格納容器から水素が漏洩し、原子炉建屋で爆発する、というシナリオが見落とされてしまった。
- ということではないか、と考えられます。

2011-8-9 記