

平成24年（行ウ）第15号 東海第二原子力発電所運転差止等請求事件
原告 大石 光伸 外265名
被告 国 外1名

準備書面（54）

- 水素爆発及び水蒸気爆発に対するシビアアクシデント対策の不備 -

2017年10月26日

水戸地方裁判所民事第2部合議係 御中

原告ら訴訟代理人
弁護士 河 合 弘 之
外

目次

第1	はじめに.....	3
第2	水素爆発に対するシビアアクシデント対策の欠如.....	4
1	水素爆発の機序.....	4
2	水素爆発対策の不足.....	5
(1)	現行規制基準.....	5
(2)	水素漏洩の可能性の検討不足.....	5
(3)	原子炉建屋内の水素爆発の防止策が不十分である.....	6
(4)	小括.....	7
第3	水蒸気爆発に対するシビアアクシデント対策の欠如.....	8
1	水蒸気爆発のメカニズム.....	8
2	水蒸気爆発に関する日本の規制の非保守性.....	8
3	IAEA基準.....	10
4	大規模な原子炉圧力容器外水蒸気爆発の可能性は十分に低いとする見解の不当性.....	11
(1)	被告日本原電の見解.....	12
(2)	被告日本原電の見解に反する日本原子力研究開発機構及び電力4社の見解.....	12
(3)	各試験に対する被告日本原電の我田引水な見解.....	13
ア	ALPHA 試験（旧日本原子力研究所）の評価.....	13
イ	KROTOS 試験の評価.....	13
ウ	FARO 試験の評価.....	14
エ	COTELS 試験の評価.....	14
カ	SERENA 計画の評価.....	15
(4)	小括.....	16
5	水蒸気爆発防止対策としてコアキャッチャーは備えるべきである.....	16
(1)	被告日本原電の水蒸気爆発防止対策.....	16

(2) 国際基準を踏まえた対策をすべきである..... 17

6 水蒸気爆発防止対策に係る規制基準及び被告日本原電が計画している対策は不合理である 17

第1 はじめに

原発の運転による放射性物質を閉じ込める機能を有する設備の説明として、5重の壁を備えているという説明がなされるが、そのうち第3の壁といわれるものが原子炉圧力容器、第4の壁といわれるものが格納容器、第5の壁といわれるものが原子炉建屋である。格納容器は一次格納容器、原子炉建屋は二次格納容器と呼称されることがある。

福島第一原発事故において、著しい炉心損傷後に、1, 3, 4号機で水素爆発が起り、原子炉建屋が損壊して大量の放射性物質が放出され、2号機では格納容器の破損が生じ、大量の水素が原子炉建屋に滞留したが、ブローアウトパネルが偶然に解放されたため水素爆発には至らなかったが、大量の放射性物質はブローアウトパネルから放出された。1, 3, 4号機で水素爆発に至ったのは、格納容器のトップフランジ、格納容器貫通部、機器ハッチ等から水素が大量に漏えいして、水素爆発（爆轟）濃度以上の濃度まで滞留し、何らかの着火原により着火され、爆轟に至ったと考えられている。

このように著しい炉心損傷後に、放射性物質を閉じ込める一次格納容器、二次格納容器の損傷が生ずると、原発敷地内外に深刻な放射能による被害を与えることは、福島原発事故が事実として明らかにしたことであり、二度とこのような事故を起こしてはならないことは、原被告に共通の認識である。

原子力規制委員会は、2011年3月11日に発生した東京電力福島原子力発電所事故の教訓に学び、二度とこのような事故を起こさないために、そして、我が国の原子力規制組織に対する国内外の信頼回復を図り、国民の安全を最優先に、原子力の安全管理を立て直し、真の安全文化を確立すべく、設置された（原子力規制委員会の組織理念 甲●）。

そして、原子力規制委員会設置法第1条（目的）において、

- ア 原子力利用における事故の発生を常に想定し、
- イ その防止に最善かつ最大の努力をしなければならないという認識に立って、
- ウ 確立された国際的な基準を踏まえて
- エ 原子力利用における安全の確保を図るため必要な施策を策定し、又は実施する事務を一元的につかさどるとともに、
- オ 委員長及び委員が専門的知見に基づき中立公正な立場で独立して職権

を行使する原子力規制委員会を設置し

カ もって国民の生命、健康及び財産の保護、環境の保全並びに我が国の安全保障に資することを目的とする

ことが規定され、原子力規制委員会は、この目的達成のために、原子力利用における安全の確保を図ることを任務とする（同法2条）とされた。

福島原発事故の重要な教訓の一つは、水素爆発の危険性であるが、それ以上に脅威であるのは水蒸気爆発の危険性である。格納容器が水蒸気爆発で破壊されたならば、その被害は正に想像を絶するものである。

果たして、規制基準及び被告日本原電の水素爆発及び水蒸気爆発に対する認識及び対策が、原子力規制委員会の以上の設置目的に適うものであるかを検討すると、水素爆発及び水蒸気爆発の危険性に対する認識が不十分でありその結果必要な対策も欠落しており、水素爆発及び水蒸気爆発に対する安全確保策が不足していることを以下に述べる。

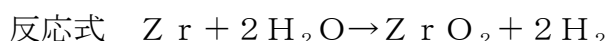
第2 水素爆発に対するシビアアクシデント対策の欠如

1 水素爆発の機序

シビアアクシデント時に、水素が発生する原因として以下の4通りがある。

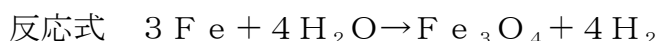
① ジルコニウム—水反応

ジルコニウム合金を材料とする燃料被覆管（第二の壁と言われているもの）が高温状態で水と接すると、水が分解されて水素が発生する。



② ジルコニウム以外の金属—水反応

たとえば、構造材の主成分である鉄が高温水蒸気と接すると、水素が発生する。



③ 水の放射線分解

放射線エネルギーにより水が分解して水素が発生する。

④ 熔融炉心—コンクリート反応（CCI）

熔融炉心が原子炉容器の破損箇所から落下して格納容器の床コンクリートと接触すると、炭酸ガスと水蒸気を発生する。熔融炉心に含まれる金属成分により、これらは還元されて水素と一酸化炭素が発生する。

水素は空気雰囲気中で酸素と反応して熱を出す。この反応形態は反応速度に応じて次のように分類される。

反応速度が遅い—燃焼（静的荷重）

反応速度が速い—爆発—爆燃（火災の伝播速度が亜音速。準静的荷重）

反応速度が速い—爆発—爆轟（火災の伝播速度が超音速。動的荷重—衝撃圧）

一次格納容器及び二次格納容器の健全性に脅威となるのは、爆燃から爆轟への遷移、及び爆轟である。福島原発事故で発生した原子炉建屋の破壊は、水素爆発に伴う爆轟によるものと推測されている（但し、3号機は核爆発であるという見解もある）。爆燃から爆轟への遷移とは、例えば途中で突起物があると、そこで火災の速度が急激に音速以上に加速される現象で、これは実験的に確認されている。

爆轟が発生する水素濃度は13%とされている。規制基準では「原子炉格納容器内の水素濃度がドライ条件（水蒸気の存在を除外すること）に換算して、13vol%以下又は酸素濃度が5vol%以下であれば爆轟は防止できると判断される」（実用発電用原子炉に係る炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策の有効性評価に関する審査ガイド 甲●）としている。

水素燃焼の着火源は、いわゆる火だけでなく、電氣的なスパーク、金属の衝突による火花、静電気による火花等非常に小さなエネルギーでも発火原に成り得る。複雑なプラントの中では着火原になるものはいくらかでもあり、福島原発事故でも着火源は特定できていないが、水素爆発は発生している。

2 水素爆発対策の不足

(1) 現行規制基準

「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なければならない」（設置許可基準規則37条2項）と規定し、同項の解釈として「想定する格納容器破損モードに対して、原子炉格納容器の破損を防止し、かつ、放射性物質が異常な水準で敷地外へ放出されることを防止する対策に有効性があることを確認する」と記し、必ず想定する格納容器破損モードの一つとして「水素燃焼」を掲げ、この規制基準の内規として「実用発電用原子炉に係る炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策の有効性評価に関する審査ガイド」を規定している。

また、設置許可基準規則52条には、水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備、同規則53条には、水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備を規定している。

(2) 水素漏洩の可能性の検討不足

上記審査ガイドでは、水素発生原因として考慮すべき事象として、上記第2-1項のうち、①、③、④については規定しているが、②については規定していない。原子炉容器の内部と外部にある構造材中の鉄の量は、他の金属に比べて桁違いに多いので、鉄についての評価を要求せず、また、実際に評価をしな

いのであれば、水素発生量の評価として全く不十分である。

有効性評価における格納容器の限界温度・圧力について、東海第二原発では、最高使用圧力 (Pd) 310 kpa (gage¹) の2倍である620 kpa (gage) とし、最高使用温度は、格納容器の限界温度を考慮して200℃としている。しかし、格納容器の圧力は2Pd まで、温度は200℃までは漏れないというのは、科学的な考察を欠いている。

格納容器の限界圧力・限界温度は、福島事故以前の格納容器が耐えられるであろうという圧力・温度であり、限界試験は窒素ガスを媒体にして漏洩の有無を求めていた。しかし、水素ガスは分子量が窒素ガスの14分の1と小さく漏洩しやすいのであるから、かつての限界圧力では、格納容器の防止機能を過大評価することになる。

また、格納容器の設計上の許容漏洩率の確認は、常温で最高使用圧力 (Pd) の0.9倍の空気圧力の条件下で、格納容器空間部容積の0.5%/日以下に漏洩が留まっているかを確認する。仮に、冷却材喪失事故により格納容器が最高使用圧力、最高使用温度になった場合、圧力は約10%高く、温度は室温と最高使用温度との差分だけ高くなるが、漏洩率がどれほど大きくなるかは不明である。もともと漏えい率は、条件の違いがあれば、正確に把握することが困難である。

さらに、炉心溶融等の重大事故時には、圧力2Pd、温度200℃を超えることもあり得る。特に、格納容器の温度は均等ではなく、上部が非常に高くなる。NUPECの試験により格納容器圧力が0.4～1 Mpaにおいても、約250℃以上になると、フランジのガスケットや電線貫通部のシール材で漏洩発生の可能性がある事が確認されており、福島原発事故時の格納容器ドライウェルの温度は、原子力安全技術基盤機構の解析によれば、1号機で500℃以上、2号機で280℃以上、3号機で400℃以上になると推定されている（東京電力株式会社福島第一原発原子力発電所事故の技術的知見について34頁 甲●）。

格納容器圧力・温度が2Pd、200℃を超え、大量の漏洩を生じることは、シビアアクシデントの事故想定として想定されなければならない、これを排除できる理由は見当たらない。

（3）原子炉建屋内の水素爆発の防止策が不十分である

格納容器から漏れた水素は、空気より軽い為、格納容器トップヘッドの真上にあるコンクリート遮蔽のブロックの隙間から、原子炉建屋6階のオペレーションフロアに溜まる。このスペースは、燃料交換時に、原子炉上部の機器や使

¹ 機器に作用する圧力の表示方法の一つ。大気圧成分（約0.1Mpa）を含む表示は「絶対圧力」、大気圧成分を除いた表示は「ゲージ圧力」という。

用済燃料や新燃料を交換するためのスペースで、大きさは40～50m四方、高さ約15m、空間容積2万数千～3万数千 m^3 になる。このスペースには酸素があり、水素爆発の危険は漏えい量が増えるに従って高まるが、水素の流入の仕方、拡散の程度並びにそれらに伴う水素濃度の差には大きな不確定要素があり、狭い空間と比較して制御は困難である。

被告日本原電は、建屋内に出てきた水素を処理するための静的触媒式水素結合装置を24台設置するとしているが、1台の処理能力は約0.5kg/hであり、1時間当たり合計約12kgの処理しかできない。重大事故で想定される数百kgの水素を処理する能力に欠けている。福島原発事故時の水素漏洩の解析では、トップヘッドフランジからの原子炉建屋最上階（5階）への漏洩モデルとして、水素100kg/時で4時間という仮定で、5階の水素濃度が爆轟領域（約20%）に達している（（東京電力株式会社福島第一原発原子力発電所事故の技術的知見について35頁 甲●））。

また、原子炉建屋の天井の一部に水素排出設備（ベント用扉）を設ける案があるようであるが、これにより水素爆発を防ぐには、大量に流れ込む水素を検知し、水素爆発を起こす前に設備が稼働しなければならない。水素検知のセンサーの故障、開閉装置の故障、タイミングのずれがあれば、水素爆発を防ぐことは出来ない。少なくともこれらの設備については単一故障基準を設けるべきであるが、「重大事故等対処設備について、単一故障は仮定しない」となっており（実用発電用原子炉に係る炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策の有効性評価に関する審査ガイド 甲●）、水素爆発対策は不十分である。

（4）小括

重大事故（著しい炉心損傷）が発生した場合、大量の水素ガスが発生し、格納容器上部は原子炉圧力容器と極めて近い為、格納容器トップヘッドは、容易に300℃を超える高温になり、トップヘッドフランジ等の格納容器貫通部からの大量の水素漏洩を避けられない。この事態の正当な評価がなされていない。また、設置が予定される水素濃度制御設備、水素排出設備は、水素爆発を防止するためには量が不足し、単一故障の仮定をしない設備設置は、重大事故対策として考慮すべき事態を考慮しない考え方に基づくものである。

福島原発事故のような事故を二度度起こさないという考え方に基づけば、水素爆発防止対策は全く不十分である。

第3 水蒸気爆発に対するシビアアクシデント対策の欠如

1 水蒸気爆発のメカニズム

水蒸気爆発は、燃焼のような化学反応ではなく、高温溶融物と接した液体の水が瞬時に蒸発する物理現象である。溶融した金属などが水に落下した場合、以下の4ステージを経て起こる。

(1) 膜沸騰を伴う粗混合状態

この状態で溶融物の周囲に蒸気膜ができ、水との接触が抑制され、一時的に安定した状態になる。

(2) 膜沸騰蒸気膜を破壊するトリガーの存在

何らかの刺激がトリガーとなり、蒸気膜を破壊すると、溶融物は水と直接接触し、激しい爆発を起こす。

(3) 膜沸騰を破壊する現象の伝播

1つの粒子の蒸気膜が破壊し爆発すると、他の粒子も次々と連鎖的に蒸気膜が破壊して爆発が進む。

(4) 高温液体の微粒化を伴う爆発的蒸発による高い圧力発生

高温液体の微細化に伴う伝達面積の急増によって、理論的には約1600倍に及ぶ急激な膨張をして周囲の構造物を破壊する。

この現象は、金属工場で水たまりに溶融金属を落とすと爆発する非常に危険な現象として昔から恐れられている。また、火山のマグマが地下水と接触すると大規模なマグマ水蒸気爆発を起こすことも知られている。

元日本原子力研究所研究員でその後原子力安全委員会委員長を務めた佐藤一男氏は「格納容器の破壊の要因としてまず挙げられるのは、格納容器内部の圧力・温度の極めて急激な爆発的上昇である。この原因の主なものは、水蒸気爆発や水素爆発である」と指摘している（改訂原子力安全の論理 215 頁 甲●）。

水蒸気爆発による格納容器破壊は、大半の放射性物質を数時間以内に外部に放出してしまう極めて厳しい事故である。

2 水蒸気爆発に関する日本の規制の非保守性

格納容器破損防止対策のうち、防止対策設備を要求せずに、唯一解析による安全確認をもって対策とする尋常ではない規制をしている。以下に、日本の格納容器破損防止対策と水蒸気爆発対策について詳論する。

原子炉等規制法43条の3の6第1項4号「災害の防止上支障がないものとして原子力規制委員会が定める規則」は、原発の位置、構造及び設備が災害の防止上支障がないものとなるような内容の規則を原子力規制委員会が定めることと理解できる。

同号に基づき、設置許可基準規則が定められ、同規則37条2項に「原子力

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」と定められている。

同項の解釈中の、(原子炉格納容器の破損の防止)において必ず想定すべき格納容器破損モードが6項目挙げられ、そのうちの 하나가「原子炉压力容器外の溶融燃料—冷却材相互作用」であり、これは水蒸気爆発をその想定の一つとしているものと理解される。

そして、「急速な原子炉压力容器外の溶融燃料—冷却材相互作用による熱的・機械的荷重によって原子炉格納容器バウンダリの機能が喪失しないこと」が防止対策の有効性評価の一つの基準とされている。この評価中に、水蒸気爆発の防止対策の有効性評価も含まれていると理解される。

さらに、これらの規制基準の内規として「実用発電用原子炉に係る炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策の有効性評価に関する審査ガイド」を規定し、その中で「原子炉压力容器外の溶融燃料—冷却材相互作用」を定め、a 現象の概要 b 主要解析条件 c 対策例 を記している。この中で水蒸気爆発については以下のように記している。

実ウラン溶融酸化物を用いた実験では、衝撃を伴う水蒸気爆発は発生していない。従って、水蒸気爆発の可能性は極めて低いことを示すこと。ただし、溶融炉心から冷却材への伝熱による水蒸気発生に伴う急激な圧力上昇(圧力スパイク)の可能性があることから、その影響を評価すること。

そして、この格納容器破損モードにおける対策例は

解析によって原子炉格納容器バウンダリの機能が喪失しないことを確認する

というのみであり、何らの設備等の物的対策は必要としていない。

格納容器破損は、事故が発生することを前提に、その対策を具体的に講じることが要求されているのであるから、このガイドのように、水蒸気爆発の可能性は極めて低いことを示せば重大事故の想定として足りるというのは、そもそもの考え方に矛盾する規定である。他の重大事故対策とことなり、「解析によって原子炉格納容器バウンダリの機能が喪失しないことを確認する」が対策であるのは尋常でない。事故想定をして、それに対する防止策を考えることがシビアアクシデント対策であり、単に解析だけで事故を防止できるのであれば、そもそも、「原子炉压力容器外の溶融燃料—冷却材相互作用」は、重大事故の一つとして考えなくてもよいということを宣言しているに過ぎない。しかし、格納容器破損の重要な原因として、水蒸気爆発を考えなくてはならないことは、元原子力安全委員会委員長も指摘していることであり、後記のように I A E A も検討事項にいれているのであるから、科学的にも国際的基準からしても、日本

のような規制の仕方は、安全確保策として不十分であることは明らかである。

3 IAEA基準

水蒸気爆発について、IAEAは以下のようにこれを考慮し、対策を講じることを求めている。確率が低いからという理由で水蒸気爆発を重大事故から除外することは禁止している。

(1) 原子力発電所の原子炉格納系の設計(安全指針NS-G-1.10 甲●)

6. 重大事故に対する設計上の考慮

「全般」

6.5 新規発電所については、発生する可能性がある重大事故は、格納系の設計段階で考慮されるべきである。重大事故の考慮は、以下の状態を実質的に排除することを目的とされるべきである。

- ・ 格納構造物の直接加熱、水蒸気爆発又は水素の爆轟の結果として、早期の段階で格納構造物に損傷を与え得る重大事故状態

「エネルギーの管理」

6.14 (前略) 容器外の水蒸気爆発の影響は、発電所固有であり、予測することはより困難である。したがって、特定の発電所設計について、水蒸気爆発に伴う脅威が小さいことが示されることができないのであれば、熔融炉心物質を冷却する必要性と水蒸気爆発のリスクとの均衡を取るための、事故管理の対策を明確にする際には、特別な注意が払われるべきである。

「添付資料Ⅲ 重大事故現象」

水蒸気爆発

Ⅲ-10 原子炉キャビティに水が存在する状態と連結した高圧又は低圧での原子炉容器の破損は、急速な水蒸気発生又は水蒸気爆発の可能性を伴う燃料と冷却材との相互作用に至ることがある。急速な水蒸気の発生が、格納構造物が局所的な加圧に起因して破損するような、圧力を軽減する格納構造物の能力を上回る格納構造物個別区画の加圧を引き起こすことがある。微細化した炉心物質と周囲の水との急速な混合により水蒸気爆発が引き起こされることがあり、周囲の水の急速な蒸発及び加速を生じ著しい圧力荷重及び衝撃荷重を生み出すことになる。

Ⅲ－１１ 原子炉キャビティ内での水の存在は、原子炉キャビティ支持壁及び格納構造物ライナなどの格納構造物の重要な部材が、これらの大きい衝撃荷重に耐える能力がないのであれば、適切なレイアウトをすることによって避けられる。

このように、水蒸気爆発は重大事故として起こり得るものとする前提に立って、これを排除するような設計、慎重なエネルギー管理を求めている。

(2) 原子力発電所のシビアアクシデントマネジメント計画 (安全指針 NS-G-2. 15 甲●)

「全般的な提言 (緩和のための枠組み)」

3. 3 アクシデントマネジメントの手引きは、シビアアクシデントにより核分裂生成物の障壁に対して起こり得る脅威の全体像、すなわち、複数のハードウェアの故障、人的過誤及び／又は外部からの事象、並びにシビアアクシデントの進展中に生じうる可能性のある物理現象 (水蒸気爆発、格納容器の直接加熱と水素燃焼など) に起因するものを含めて扱うべきである。この過程において、解析では頻繁には考慮されない問題、すなわち、極めて起こりそうもない設備の故障や異常動作などの追加的なことも考慮されるべきである。

3. 5 起こり得る事象を決定するのに本質的な不確かさがあることを考慮すると、PSAは、シビアアクシデントの手引きの策定において事故シナリオを除外するために、先験的に使用されるべきではない (注 PSAを先験的に使用したいときは、切り捨てレベルを極めて低く定めて、解析するシナリオの範囲と本質を過小評価しないようにするべきである)

このように、アクシデントマネジメントの手引きは、シビアアクシデントの進展中に生じうる可能性のある物理現象である水蒸気爆発に起因するものを含めて扱うべきとし、起こり得る事象を決定するのに本質的な不確かさがあることを考慮すると、PSA (確率的な安全評価) は、事故シナリオを除外するために使用してはならないとしている。

日本の規制は、水蒸気爆発対策を求めず、その根拠として「発生の可能性は極めて低いこと」を使用しており、IAEAの基準に反するものである。

4 大規模な原子炉圧力容器外水蒸気爆発の可能性は十分に低いとする見解の

不当性

(1) 被告日本原電の見解

被告日本原電は、溶融燃料—冷却材相互作用（FCI）に関する実験研究として行われた、(旧) 日本原子力研究所で実施されたALPHA試験、JRCイストラ研究所で実施されたKROTOS試験、FARO試験、(旧) 原子力発電技術機構で実施されたCOTELS試験、韓国原子力研究所(KAERI)で実施されたTRO I試験及びSERENA試験をもとに、試験条件と実機条件の検討により、実機においては、格納容器の損傷に至る大規模な原子炉圧力容器外水蒸気爆発の可能性は十分に小さいと考えられる(東海第二発電所 ペデスタルでの物理現象発生に対する対応方針 平成29年4月 甲●)としている。

しかし、この見解は、上記試験結果を強引に解釈して結論に結び付けているものであり、試験から得られる筈の正当な知見に基づく見解ではない。

(2) 被告日本原電の見解に反する日本原子力研究開発機構及び電力4社の見解

日本原子力研究開発機構（JAEA）の2007年8月6日の論文「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」<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Research-2007-072.pdf> (甲●) の「はじめに」には、以下のように記されている。

原子炉内水蒸気爆発は発生しにくいですが、炉容器外での溶融炉心が比較的低下で高サブクール度² の大量の冷却水と接触する可能性があり、強い水蒸気爆発の可能性を除外できない。また、炉容器外水蒸気爆発による格納容器破損のシナリオは炉容器内の場合に比較して炉型に強く依存するため一般的な結論を導きがたく、個別の評価の必要性が高い。

さらに、本解析結果参照にあたって注意点では以下のように記している。

検証に用いた実験の規模に対し実機現象は融体質量で約100倍の外挿となっていることから、規模の拡大による予期しない影響が存在する可能性は否定できない。

また、BWRを所有している電力会社4社（東北電力、東京電力、中部電力、中国電力）により平成27年6月に作成された「重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（第5部MAAP）添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について」

<https://www.nsr.go.jp/data/000109849.pdf> (甲●) の「まえがき」には以下のように記されている。

溶融炉心と冷却材の相互作用（FCI）に関しては、国内外において現象

² 飽和温度と実際の温度の差

の解析や評価に関する多くの活動が行われてきている。しかしながら、現在においてもその現象の解明は研究段階にあり、現象全体十分な理解に至っていない。また、多くのFCI実験が行われているものの、実機規模での現象については、有効なデータが十分には得られていないといえる。このようなことから、国内外で実施された実験結果の知見から解析モデルに関する不確かさを検討し、これを基にした感度解析により有効性評価への影響を確認する。

2007年、平成27年（2015年）のいずれの見解も、水蒸気爆発は未だにその現象の解明が研究段階であり、実機規模の有効なデータは得られていないと述べている。この事実からして、被告日本原電の見解は、余りにも粗雑な一方的な見解である。

（3）各試験に対する被告日本原電の我田引水な見解

ア ALPHA 試験（旧日本原子力研究所）の評価

被告日本原電は、「高雰囲気圧力（STX008、STX012、STX015）、サブクール度が小さい（水温度が372Kと高い）場合（STX014）は、水蒸気爆発の発生が抑制される試験結果が知見として得られている。溶融物を半減させた3ケース（STX001、STX010、STX013）のうち、2ケース（STX001、STX013）では、水蒸気爆発が発生していない。」と評価している。しかし、外部トリガーなしに、19回実施した試験で11回水蒸気爆発が発生しており、発生しなかったのは8回である。水蒸気爆発の機会が大きく、しかも外部トリガーなしでも水蒸気爆発は起こるという結果である。また、（STX001、STX010、STX013）は、他の条件が同じで水温度がそれぞれ293K、297K、284Kであるが、サブクールド度が最も小さい（STX010）だけが水蒸気爆発を起こしている。サブクール度が小さい場合は水蒸気爆発が抑制されるということとはできない。

イ KROTOS 試験の評価

被告日本原電は「U₂混合物試験では、外部トリガー無しでは、水蒸気爆発は発生していない。また、U₂混合物でも外部トリガー有りでは水蒸気爆発が発生している試験ケース（K52、K53、K46）が、これらのケースはサブクール度が大きい試験である。」としている。しかし、本試験における各パラメータは、溶融物3kg~5.4kg、溶融物組成：二酸化ウラン80%+二酸化ジルコニウム20%、溶融物温度3018~3133K、圧力0.1MPaがベースで、水深1.08~1.14m、サブクール度4~122Kの限定された範囲での試験である。その中で、たとえば外部トリガー有のサブクール度83Kの試験ケース（K46）は水蒸気爆発が起きているが、サブクール度82Kの試験ケース（K47）では、水蒸気爆発は起きている。サブクール度が1kしか変わらず、試験に実施に伴うばらつきを考えると、サブクール度が大きいから水蒸気爆発が起きているということとはできない試験結果である。

また、トリガー有で、試験ケース (K36) は水蒸気爆発が起きていないが、試験ケース (K46) では起きている。両者の比較的大きな違いは、溶融物の量で (K36) が 3.0kg に対して (K46) は 5.4kg と 1.8 倍も大きい。溶融物の量が多いことが関係あるとすると、試験規模の大きさが実機とかけ離れていることが原理的な問題になることを示唆するものである。

ウ FARO 試験の評価

被告日本原電は「酸化物コリウム (UO_2 及び ZrO_2) 及び金属ジルコニウム (Zr) を含むコリウムが用いられ、多くの試験は高圧 (5MPa 程度)・飽和水条件 (サブクール度ゼロ) で実施されているが、低圧 (0.2MPa 程度)・サブクール水条件の試験も実施されている。FARO 試験のいずれの試験ケースでも水蒸気爆発は発生していない。外部トリガーは 1CASE を除いて無しである。」と殊更に水蒸気爆発が発生していないことを強調している。

しかし、1 ケースを除いて外部トリガー無しの条件で試験が行われている。水蒸気爆発が起きないことを示すのであれば、トリガーの存在の不確定性を考え、同様のすべてのケースで外部トリガーを有する試験をすべきであり、それをしていない試験結果からでは、実機に応用することには無理がある。

エ COTELS 試験の評価

被告日本原電は「模擬溶融物として UO_2 -Zr-Zr O_2 -SS 混合物を用いており、コリウムに金属成分が含まれる。代表的な試験ケース (A1) の圧力挙動を見ると溶融混合物がプール水に接触した直後に急激な圧力上昇となる。その後、サブクール水では蒸気凝縮が発生し、一時的に圧力が減少するが、溶融混合物からの熱伝達による蒸気発生により、準定常的な状態まで徐々に圧力が上昇する。主な知見は、以下である。

・サブクール度が大きいケースも含め、全ての試験で水蒸気爆発は発生していない。」と評価している。

しかし、この試験は全て外部トリガー無しで行われている。FARO 試験と同じく、トリガーの存在の不確定を考え、すべてのケースで外部トリガーを有する試験を実施すべきである。COTELS 試験は、溶融物の温度が示されていない。溶融物の温度計測は水蒸気爆発試験において最も基本的なデータでそれがわからない試験では、水蒸気爆発発生の有無を判断すべき条件を欠いている。

オ TROI 試験の評価

被告日本原電は次のように記している。「TROI 試験は、2007 年から 2012 年までは、KROTOS 試験とともに OECD/NEA の SERENA プロジェクトとして実施された試験である。 ZrO_2 を用いた試験では外部トリガリングを与えていないが、圧力スパイクや水蒸気爆発が発生した試験がある。一方、 UO_2/ZrO_2 の混合物を用いた試験では、異なった条件による内部トリガリングを発生させるため又は外部ト

リガリングによる水蒸気爆発時の発生エネルギーを変えるため、混合物の割合、水深及び混合物量等の様々な条件により試験を実施し、数ケースでは水蒸気爆発が発生している。TROI 試験で得られた主な知見は以下である。

- ・自発的な水蒸気爆発が生じた試験は、融点を大きく上回る過熱度を溶融物に対して与えるなどの実機と異なる条件であり、その他の試験では自発的な水蒸気爆発は生じていない。
- ・水深が深い場合（130cm）には、内部トリガリングによる水蒸気爆発は発生していない。水深が深いことにより、溶融物粒子が底部に到達するまでの沈降時間が長くなり、溶融物粒子が固化しやすい状況となる。このため、溶融物粒子が底部に接触することで発生するトリガリングの可能性は低減する可能性がある。」

しかし、TROI 試験装置による実験で重要なことは、激しい自発的な水蒸気爆発が発生していることである。溶融物としては、ジルコニア（二酸化ジルコニウム ZrO_2 ）のみと二酸化ウラン（ UO_2 ）にジルコニアを加えた場合について実験を行い、どちらも自発的な水蒸気爆発を発生を確認している。被告日本原電は、自発的な水蒸気爆発は、融点を大きく上回る過熱度を溶融物に与えたとしているが、TROI-13は3300K以上とされていたが2600Kに訂正され、TROI-14は実機条件に近い3000Kであり、その指摘は当たらない。温度が高いことを理由に水蒸気爆発の可能性を否定する評価は誤りである。

カ SERENA 計画の評価

OECD SERENA 計画の結果を記した NEA/CSNI/R (2014) 15 によると、TROI 装置、KROTOS 装置を使用した実験では、12 回実施したうち 8 回の実験で水蒸気爆発を確認している。TS-6 と KS-4 の実験条件を見ると、溶融物の温度は、現実的な温度と思われる 2910K (TROI 装置) と 2958K (KROTOS 装置) で、それぞれ水蒸気爆発が発生している。溶融物の質量は 2~3kg (KROTOS 試験) と、10~20kg (TROI 試験) である。測定された圧力値は、TROI 装置の実験では 25MPa (約 250 気圧)、KROTOS 装置の実験では、44.7MPa (約 450 気圧) という高いものであったが、これらの実験は外部トリガーを加えたものと思われる。実機において、外部トリガーとして考えられるものは、大きい圧力パルスによる蒸気膜の破壊、急激な水温の低下による蒸気内水蒸気の凝縮、高速の流動による蒸気膜の剥離、容器壁と溶融物に閉じ込められた水の沸騰蒸発による外力の発生等であるが、外部トリガーなしに水蒸気爆発を実験的に再現することは困難であることからそのような実験条件を付したものと推測される。

(4) 小括

以上のように、過去に行われてきた水蒸気爆発の試験結果からでは、未だに水蒸気爆発の現象の解明をするまでには至っておらず、2007年8月6日の日本原子力研究開発機構（JAEA）の「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」、2015年6月の電力会社4社により作成された「重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（第5部MAAP）添付2 熔融炉心と冷却材の相互作用について」の見解のとおり、水蒸気爆発は未だにその現象の解明が研究段階であり、実験規模の有効なデータは得られていないのである。

試験結果を我田引水に評価し、水蒸気爆発の可能性は十分に低いと解することは科学的思考ではない。

5 水蒸気爆発防止対策としてコアキャッチャーは備えるべきである

(1) 被告日本原電の水蒸気爆発防止対策

被告日本原電は、原子炉圧力容器外での大規模な水蒸気爆発の発生可能性は十分に小さいが、BWRは、ペDESTALのRPV支持機能喪失が格納容器健全性に影響するため、水蒸気爆発の発生を想定したペDESTAL健全性を評価している。大規模な水蒸気爆発の可能性は十分に小さいが、ペDESTALを損壊して原子炉容器が支持できなくなる程度の水蒸気爆発の可能性はあるという評価をしているということである。水をペDESTALに張らなければ水蒸気爆発は起きないが、そうすると熔融物によるペDESTALのコンクリートの浸食、熱影響によりやはり原子炉容器支持機能が喪失される可能性がある。また、水を張る量を多くし過ぎると大きな水蒸気爆発に至る可能性がある。そこで、水蒸気爆発とコアコンクリート反応の両者を防止するために、ペDESTALに張る水の深さを1メートルに維持する設備を設置することを計画している。

しかし、水位を維持する装置の一つであるスワンネックの配管が詰まって想定以上の水位になり、より激しい水蒸気爆発を起こすことはないと言えない。周囲に穴の開いた金属の壁を用意する計画のようだが、何らかの要因（例えば、配管破断が原因で炉心熔融に至った場合など）で大量のデブリ（熔融物ではなく、配管の保温材など）が水の流れをふさいでしまうと、水位が2m以上になり激しい爆発を起こすことになる。

水蒸気爆発を起こさなかった場合には、ペDESTAL床に熔融デブリが溜まり冠水するが水を蒸発させ水位がさがる。しかし、計画したように大量のデブリが落ちてきた時に冷却できるかどうかははっきりしない。高温のデブリの周囲に厚い殻ができ、冷却がうまくいかない可能性もあり得る。

被告日本原電の計画は、いくつもの安全側の想定がその通りになることが条

件であり、不確実な計画にすぎない。想定通りでなければ、原子炉容器支持機能が喪失し原子炉容器が倒れ、大惨事に至る。また、支持機能が維持されたがペDESTALが浸食されて貫通し、高温のデブリが圧力抑制プールに落下して、大規模な水蒸気爆発に至る可能性もある。

被告日本原電の防止対策では安全は確保されない。

(2) 国際基準を踏まえた対策をすべきである

欧米を中心に建設或いは計画中の原発、それだけでなく、フランスの既設の原発でも、水蒸気爆発防止対策としてコア・キャッチャーが設置されている。コア・キャッチャーは、超高温に耐えることのできるセラミックなどを素材として、格納容器下部に落下した熔融燃料（コア）の受け皿を用意する設備である。

フランスAREVA社のEPRに設置されているコア・キャッチャーは、原子炉容器の直下にコアの受け皿を設け、耐熱材料で作られた導管で脇にある広い面積の貯留部に移すという構造になっている。

コア・キャッチャーの必要性は早くから認識されていて、日本でも1990年代に東芝から特許申請が出されている。また、東芝は2006年にも別の特許申請を出している。

国際基準を踏まえない偏狭な安全対策が福島原発事故を招いたことは明らかであり、その反省の上に立って、国際基準を踏まえることは新規制基準の根本思想の一つにされている。

水蒸気爆発があることを前提に、できる限りの安全設備を設けるべきであり、コア・キャッチャーはその一つである。それができないのであれば、原発は廃炉にすることが然るべき安全確保策である。

6 水蒸気爆発防止対策に係る規制基準及び被告日本原電が計画している対策は不合理である

水蒸気爆発の発生可能性は極めて低いという考えに立って、水蒸気爆発防止対策を具体的に要求しない基準は、科学的考えにも国際基準にも反する不合理な規制である。重大事故対策の中で、唯一解析をもって対策としており、その特異な規制は際立っている。格納容器破損の重要な原因として水蒸気爆発を考えなくてはいけないことは、科学的な理論からも、IAEAの基準からも、当然要求されていることである。

また、被告日本原電は、水蒸気爆発の可能性は十分低いとの見解を述べながら、水蒸気爆発は起こると考えて対策をたてているが、その対策は、水を張った中に高温の炉心熔融物が落ちることを容認した上での対策であり、被告日本

原電が想定したとおりの条件下での安全対策である。水蒸気爆発の発生を認めるならば、その防止策は、少なくとも国際基準にのっとったものでなければならず、コア・キャッチャーを設けるべきである。