

原子炉格納容器内の水蒸気爆発の危険性

高島武雄[†] たかしま たけお
後藤政志[†] ごとう まさし

現在、原子力規制委員会において、原発の再稼働に向けて新規制基準への適合性審査が進められている。8月現在、設置変更許可申請書の審査が合格とされたものは九州電力川内原発1・2号機、関西電力高浜原発3・4号機および四国電力伊方原発3号機である。

加圧水型(PWR型)原子炉において、核燃料の冷却材が喪失して過酷事故(新規制基準では重大事故という)が発生した場合、格納容器下部キャビティに冷却水を供給して深さ1.3mのプールを作り、原子炉圧力容器底部を貫通して格納容器底部に落下する溶融核燃料をそのプール内で冷却する、というのが過酷事故対策のシナリオである(「高浜3・4号機審査書」p.211。川内原発、高浜原発、伊方原発とも、審査書は同一文面であるので、以下高浜原発審査書のページ数を記載する)。その際に、高温の溶融燃料が常温に近い水中に分散しつつ落下するので、水蒸気爆発の発生が懸念される。けれども、審査書ではその可能性は極めて低いとして過酷事故対策の対象から除外している(p.203)。

本稿では、この判定に対して、水蒸気爆発の危険性が無視できるレベルではないことを論証する。万一、原子炉格納容器内で水蒸気爆発が発生した場合には、修復不可能な災害が発生することが懸念され、現在の原子力規制委員会の判定はきわめて大きなリスクを抱えている。

水蒸気爆発とは何か

図1は500mLのビーカーに水を入れ、数十gの溶融ハンダを投入した時の水蒸気爆発の様子を示す。ビーカーが空中に飛び上がるほど激しい爆発現象が観察される。

通常的气体爆発は水素ガスなどの可燃性ガスが急激な燃焼により発生するものであるが、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。図1に示すように、高々数十gの溶融金属で、これほどの大きなエネルギーが短時間に解放される現象が水蒸気爆発である。この現象は、金属工場で水溜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。液体の水が大気圧下で蒸発すると、その体積は理論上1600倍にもなり、その体積の急膨張が水蒸気爆発である。ただし、実験を繰り返してみると、条件によって発生したり発生しなかったりする複雑な現象であることもわかっている。この急激な蒸発過程の初期反応は100万分の1秒以内の時間で起こり、爆発が全体に及ぶ時間も数十分の1秒程度である。この過程は「大きな爆発が生じるためには、……これら小爆発が全体にわたって一挙に起こらなくてはならない。起こるべき小爆発はオーケストラの演奏時のように、何らかの“指揮棒”が振られるまで皆静かにしていて、指揮棒によって一斉に爆発を起こし、この結果が大きな

[†]一審者紹介は末尾参照。



(a)ハンダ投入直後

(b)水蒸気爆発によって
ピーカーごとジャンプ

図1—数十gの溶融ハンダを水に投入した時に起こる水蒸気爆発

爆発を生じる」と表現することもできる。

コラムに水蒸気爆発のメカニズムを示す。

原発過酷事故時の水蒸気爆発： 格納容器破壊の脅威

原発の安全性は放射性物質の拡散防止に尽きると言ってよい。福島事故では、格納容器がじょじょに過温、過圧した結果、意図的な格納容器ベント、あるいは意図しないフランジや電気配線貫通部などからの漏洩により放射性物質飛散が拡大した。

原子炉压力容器内の冷却ができなくなり、炉心溶融が起ると、急激な爆発的現象によって格納容器が早期に破壊される事故シナリオ(格納容器早期

コラム

水蒸気爆発のメカニズム

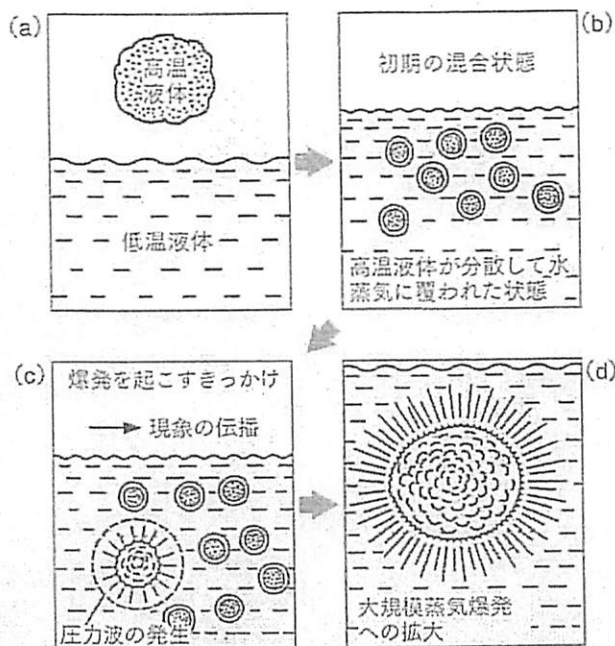
水蒸気爆発は、温度の異なる2種類の液体が接触した時に、瞬時に起こる現象であるが、溶融した金属などが水に落下した場合、高速度写真による観察などから、以下の4つのステージを経て起こることが明らかにされた。すなわち、(1)膜沸騰を伴う粗混合状態(図の(b))、(2)膜沸騰蒸気膜を破壊するトリガーの存在(図の(c))、(3)膜沸騰を破壊する現象の伝播(図の(c))、(4)高温液体の微粒化を伴う爆発的蒸発による高い圧力発生(図の(d))、というプロセスをたどる。

破損という)が昔から懸念されている。代表的なものは、格納容器内水素爆発、格納容器雰囲気直接加熱(DCH: Direct Containment Heating)、コア・コンクリート反応(MCCI: Molten Core Concrete Interaction)、原子炉が压力容器内外の水蒸気爆発である。図2に過酷事故時の格納容器内で起こり得る現象を示す。

いずれも格納容器破壊の脅威があるので、原子力安全の歴史の中でずっと課題とされてきた。

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、水蒸気爆発や水素爆発である」(傍点筆者)と指摘している²。

元JAEA安全研究センター研究員だった更田豊志(原子力規制委員会委員)は2012年2月28日の第7回東海フォーラム『事故の教訓と安全研究の方向性』で、図3に示すソースターム(環境に放出された放射性物質)の解析例を示し、格納容器破損モード(壊れ方)の違いによる放射性物質の放出量(縦軸)と時間(時間)について説明している。「管理放出(格納容器ベント)」は事故後十数時間であり、「過圧破損による後期大規模放出」は事故後28時間程度で起こるので「後期」と称し、正に福島で起きた事



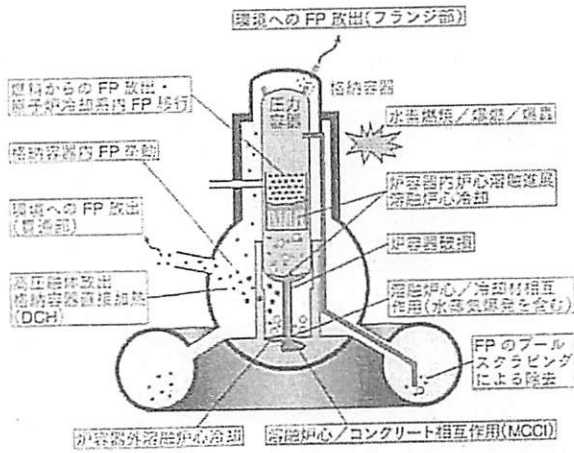


図2—過酷事故時の格納容器内の現象
JAEA「事故の教訓と安全研究の方向性」更田豊志(2014)より作成

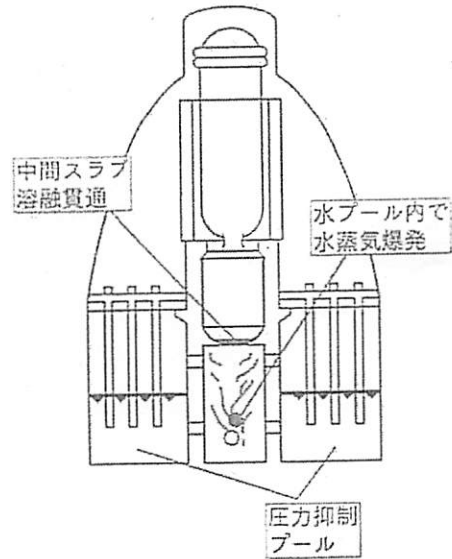


図4—マークII型格納容器の炉心溶融

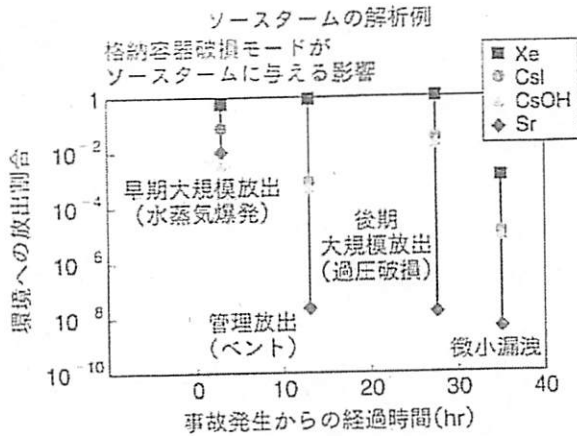


図3—第7回東海フォーラム「事故の教訓と安全研究の方向性」更田豊志(2012)より

故を表している。縦軸は各放射性物質、Xe(キセノン)、CsI(ヨウ化セシウム)、CsOH(水酸化セシウム)、Sr(ストロンチウム)がどれだけの割合で出たかを示す。それに比べて、「水蒸気爆発による早期大規模放出」は、水蒸気爆発が格納容器を同時に破壊して、大半の放射性物質が数時間以内に出てしまい極めて厳しい事故であることがわかる。事故後数時間で大量に放射性物質を放出してしまうこのような格納容器の壊れ方を「格納容器早期破壊」といい、その代表的な原因が水蒸気爆発である。

現在進行中の新規制基準適合性審査ではすでに水素爆発やコア・コンクリート反応、水蒸気爆発などが論じられている。チェルノブイリ事故では、水蒸気爆発が発生した可能性もあり、事故の後期では溶融炉心がプラントの下部にある水プールに

落下してさらなる大規模な水蒸気爆発の可能性が懸念された。

事故を起こした東京電力福島第一原発は、沸騰水型(BWR型)格納容器でマークI型であったことから、原子炉压力容器の直下には大量の水がなかったために大規模な水蒸気爆発は起こらなかった³。もし、日本原電東海第二原発のようなマークII型格納容器であったならば、溶融物は原子炉压力容器の真下にあるコンクリート中間スラブ上にたまり、そこで冷却水と接触して水蒸気爆発を起こすか、あるいは中間スラブの厚さ数十cmのピットの底を溶融貫通し、直下の圧力抑制プールに落下して、大規模な水蒸気爆発を起こす危険性があった⁴。図4にマークII型格納容器における水蒸気爆発の可能性を示す。

加圧水型原子炉格納容器と水蒸気爆発

本論文の対象であるPWR型原発の審査における過酷事故シナリオの典型例は、「大破断冷却材喪失事故(LOCA: Loss-of-coolant Accident) + 全電源喪失(緊急炉心冷却系(ECCS: Emergency Core Cooling System)失敗 + 格納容器スプレイ失敗)」で、下記のように想定されている⁵。

- ①時間的に約20分前後で炉心溶融、約1.5時

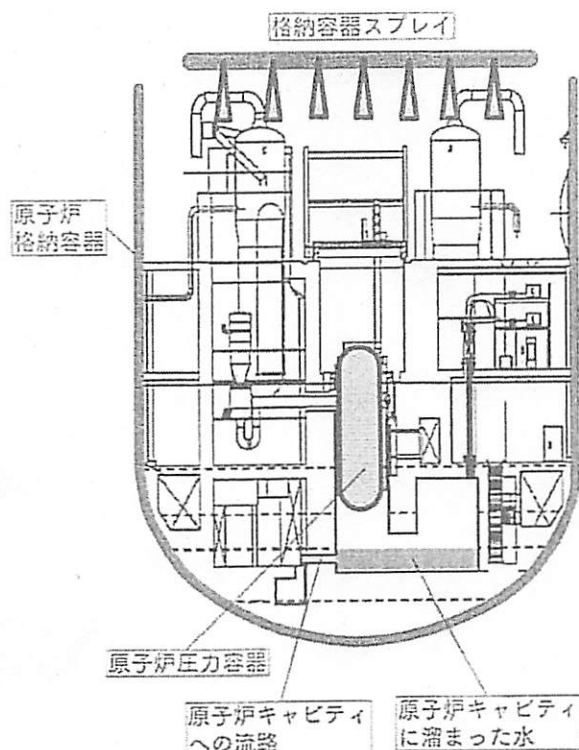


図5-PWR キャビティへの注水

間で原子炉圧力容器は破損する。これは、福島事故を起こした BWR 型に比べて時間的にはるかに厳しいシーケンスである。この事故進展速度は、PWR 型のほうが高圧、高温であることによるが、重大事故対策として設置変更許可審査書に記載されている手動操作による対処はほとんど期待できない。つまり、この事故シナリオでは、炉心溶融・原子炉圧力容器破損はほぼ必然であり、溶融炉心は一気に格納容器内に出てくる。

②溶融炉心が原子炉圧力容器から落下あるいは噴出する状況は、それまでのメルトダウンの進展プロセスや、原子炉圧力容器内外の圧力と温度、原子炉キャビティに張られた水の温度や水深など、様々な偶然に支配されるため、現象を断定的に記述できない。こうした非常に不確定な状況の中で、溶融物と水の相互作用を溶融炉心・冷却材相互作用 (FCI: Fuel Coolant Interaction) というが、その過程で発生が危惧されるのが水蒸気爆発である。

③本事故シナリオでは、配管破断が起きて、電源もないため ECCS も作動できない。過酷事故 (重大事故) 対策として追加した冷却設備は、容量が小さいので原子炉圧力容器内への注水を断念して、

メルトダウンは放置する。代わりに格納容器スプレイで冷却水を格納容器上部から散布し、格納容器の破損を防ぐと同時に、その冷却水をいくつかの流路から原子炉キャビティに導き、水深 1.3 m 程度の水プールを作る (図 5)。

④こうして原子炉を貫通した溶融炉心が原子炉キャビティの水プールへ流れ落ち、冷却されて MCCI を防ぎ安定的に炉心冷却を行う、としている。なお、この過程で危惧される水蒸気爆発は、過去の研究結果から起こりにくいと述べている。

上記事故シナリオにはいくつかの重大な過誤があり、筆者らを含め、多くの人たちがパブリックコメントにおいて厳しい指摘をしている。また、筆者の一人 (後藤) は川内原発工事認可に対して異議申し立てもしている⁶。にもかかわらず、原子力規制委員会は、電力事業者が作成した、“現実的脅威を無視した希望的なバラ色のシナリオ”を無反省に追認している。その問題点を表 1 にまとめた。要約すれば下記の 2 点になる。

(1) 原子炉キャビティに想定時間内に十分な水を張れない可能性が高い。散布されたスプレイ水は、流路 (約 195 mm × 約 395 mm の角型の穴と 2 つの直径約 150 mm の通過孔) を通じて原子炉キャビティに流れ込むことになっているが、事故の状況によっては配管保温材によって閉塞するなど、計画した通りに水を張ることができない可能性がある。水を張ることができなければ、水蒸気爆発は起こさないがコア・コンクリート反応によって大量の一酸化炭素や水素が発生し、事故の収束を困難にする。

(2) 上記の原子炉キャビティ水張りが成功した場合は、水プールに溶融炉心が落下して大規模な水蒸気爆発を起こす可能性がある。

審査書の記述

「高浜原発・4号機設置変更許可審査書」の第 4-1.2.2.4 項「原子炉圧力容器外の溶融燃料—冷却材相互作用」(p. 199~203) は次のように記載して

表1—原子炉キャビティ水蒸りの危険性

	水なしの場合	水位が低い場合	水位が高い場合
懸念される現象	①大皿の水素・一酸化炭素発生 ②冷却不足・浸食進展 ③過温	①水素・一酸化炭素・水蒸気発生 ②水の蒸発による喪失 ③過圧・過温	①水蒸気爆発
懸念される事故	厳しいコア・コンクリート反応(MCCI) 水素爆発	小規模な水素爆発 コア・コンクリート反応	大規模な水蒸気爆発 構造破壊

いる。

1. 申請内容

原子炉圧力容器外の FCI には、衝撃を伴う水蒸気爆発と、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(圧カスパイク)があるが、水蒸気爆発の発生の可能性は極めて低いと考えられるため、圧カスパイクについて考慮する。(p.199)

2. 審査結果

規制委員会は、格納容器破損モード「原子炉圧力容器外の溶融燃料—冷却材相互作用」において、申請者が水蒸気爆発の発生の可能性は低いとしていることは妥当と判断した。(p.202)

3. 審査過程における主な論点

規制委員会の指示で申請者は論文「JAEA-Research 2007-072」を調査した上で、「実機において想定される溶融物(二酸化ウランとジルコニウムの混合溶融物)を用いた大規模実験として、COTELS, FARO 及び KROTOS を挙げ、これらのうち、KROTOS の一部実験においてのみ水蒸気爆発が発生していることを示すとともに、水蒸気爆発が発生した実験では、外乱を与えて液—液直接接触を生じやすくしていることを示した。さらに、大規模実験の条件と実機条件とを比較した上で、実機においては、液—液直接接触が生じるような外乱となり得る要素は考えにくいことを示した。また、JASMINE コードを用いた水蒸気爆発の評価では、水蒸気爆発の規模が最も大きくなる時刻に、液—液直接接触が生じるような外乱を与え水蒸気爆発を誘発していること、

融体ジェット直径分布として、0.1~1 m の一様分布を与え、流体の運動エネルギーを大きく評価していることを示し、これらの評価想定は、実機での想定と異なることを示した。」

これを受けて、「規制委は、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カスパイクを考慮すべきであることを確認した」。(p.203)

JAEA 報告書の適用範囲

上記の原子力規制委員会が判断の典拠とした論文 JAEA-Research 2007-072 「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」はこの問題について次のように述べている。

1. はじめに

原子炉内水蒸気爆発は発生しにくい、炉容器外での溶融炉心が比較的低下で高サブクール度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難く、個別の評価の必要性が高い。(p.1)

3.5 本解析結果参照にあたっての注意点

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。解析で水蒸気爆発の規模を制限している主要な機構は粗

混合時のボイドの発達と融体の固化であるが、特にこの点について今後の研究で異なる知見が得られた場合には、本解析結果を見直す必要が生じる。本解析では、プールの底に滞留した融体が爆発の負荷等で再び水中に巻き上げられ、爆発に関与する可能性や、爆発が複数回発生する可能性については除外した。

(p.43)

実機が炉心溶融を起こすと、核燃料と溶けた金属が混ざって、百数十トンの溶融物が生じる。このうちどれだけの溶融物が粗混合過程に寄与するかは不確かであるが、少なくとも数百 kg ないし百トン程度まで考えておく必要がある。これに対して実験は 2 kg から約 180 kg 程度の溶融物で実施されている。これらの実験では、実機とのスケールの比を溶融物の質量の規模で少なくとも百倍から数万倍近い外挿をしていることになる。ここで重要な事実(日本の(旧)原子力発電技術機構 ALPHA 実験)は、この実験で扱った数十 kg の溶融物の量において、水蒸気爆発は落下する溶融物の量が多いほど発生しやすいことである⁹。したがって、他の条件が同じ場合、小規模な実験に比べると実機のほうが水蒸気爆発を起こしやすいのである。さらに前掲報告書「JAEA-Research 2007-072」は、プール底に滞留した融体が巻き上げられ爆発に関与する可能性や爆発が複数回発生する可能性があるとして述べている。そのことを認識しながら、水蒸気爆発が起きないとする結論はまったく根拠がない。

上記の注意点は、昔から数十年間行われてきた研究をもとに水蒸気爆発の特徴をふまえた指摘であり、水蒸気爆発は似たような条件でも発生したり、しなかったりする確率現象である。水蒸気爆発の部分的な知見は得られているが、火山の水蒸気爆発や溶融金属を扱う冶金工場、溶鉱炉の技術者らの発言からみても、水蒸気爆発を確実に防ぐには、溶融物と冷却材を接触させないことであるという、きわめて当たり前の結論以外にない。

核燃料物質を使用した水蒸気爆発実験結果と適合性審査

九州電力、関西電力、四国電力は、実験データとして COTELS 計画(日本の(旧)原子力発電技術機構)、FARO および KROTOS 装置(イタリアにあるイスバラ研究所)のものをあげているが、なぜか TROI 装置(韓国原子力研究所)による実験結果には言及していない。これらは高温の溶融物を水プールに落下させて、水蒸気爆発の発生を調査するための実験装置である。なお、FARO は Furnace And Release Oven, KROTOS はギリシャ語で「爆発」を意味し、TROI は Test for Real Corium Interaction with water の略である。

水蒸気爆発が発生するためには、コラムにも記したように、粗混合状態での膜沸騰蒸気膜を破壊して、液-液接触させるためのトリガーが必要である。融点の低い金属のスズや鉛、それらの合金であるハンダなどでは、温度低下に伴い膜沸騰が維持できなくなって蒸気膜が崩壊し、自発的に水蒸気爆発が起こると思われる。しかし、融点の高い金属の水蒸気爆発やマグマ水蒸気噴火などでは、膜沸騰蒸気膜を破壊する外部トリガーが必要となる。外部トリガーとしては、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膜内水蒸気の凝縮、高速の流動による蒸気膜の剝離、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などが想定されている。

TROI 装置による実験^{9,10)}によると、6 回のうち 4 回は激しい自発的な水蒸気爆発が発生している。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、どちらでも自発的な水蒸気爆発の発生を確認している。

たとえば TROI-13 という実験では、二酸化ウラン：ジルコニア：ジルコニウム = 69:30:1 という割合の溶融物を使用して、7 MPa の圧力パルスが、TROI-5 では 1 MPa の圧力パルスが発生する水蒸気爆発が生じている。TROI-13 では 15 kg

表2—TROI 装置と KROTOS 装置による代表的な実験条件

		装置名(実験番号)	
		TROI(TS-6)	KROTOS(KS-4)
溶融物条件	組成(wt%)	二酸化ウラン(73.3), ジルコニア(18.5), 酸化鉄(4.9), FP(3.3)	二酸化ウラン(80), ジルコニア(20)
	質量(kg) 温度(K)	9.3 2910	2.3 2958
水相条件	内径(m)	0.6	0.2
	水深(m)	1.0	1.1
	水相容積(m ³)	8.03	0.23
	水温(K)	338	332
結果	水蒸気爆発	発生	発生
	最大圧力(MPa)	25	44.7

※系圧力は0.2 MPa

※FP：核分裂生成物(Fission Products)

の試料を溶解して実際に水プール中に投入し、爆発したのは約 8 kg だが、それでも激しい爆発を起こしている。しかも外部トリガーなしで自発的に起こっている。

審査の過程で電力会社が大規模実験としてあげた実験規模は、COTELS の実験装置では約 60 kg、KROTOS では約 3 kg の試料を用いている。しかし、申請で無視した TROI 装置では 10~20 kg の試料を用いており、KROTOS より規模の大きい実験である。規模から考えても TROI の結果を評価しない理由は理解できない。しかも TROI による実験は KROTOS などよりも最近に行われている(表2に具体例を示す)。

爆発の発生の有無には、投入される溶融物の量、水温、混合物の割合など、さまざまな因子が関与しており、それらの組み合わせが爆発の条件を満たした場合には、容易に爆発が発生する可能性があり、発生の有無を安易に即断してはいけない。

原子力規制委員会は、川内原発の審査書に対する筆者(高島)が提出したパブコメに対して、「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」という「考え方」を示した。ここに、SERENA とは、Stream Explosion Resolution for Nuclear Applications のことである。

この OECD SERENA 計画の結果を記した NEA/CSNI/R(2014)15¹¹ 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の発生を確認している。

表2に、この計画の TS-6 と KS-4 の実験条件を示した。溶融物は、現実的な温度と思われる 2910 K(TROI 装置)と 2958 K(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 2~3 kg(KROTOS 装置)と、10~20 kg(TROI 装置)である。測定された圧力値は、TROI 装置の実験では 25 MPa(約 250 気圧)、KROTOS 装置の実験では 44.7 MPa(約 450 気圧)という高いものであった。これらの実験は外部トリガーを加えたものと思われる。

一般に、溶融温度の低いスズや鉛を除いて、溶融鉄やアルミニウム、マグマなどを水プールに投入する実験室規模での実験では、自発的な水蒸気爆発が発生することはほとんど報告されていない。高速の水流を吹き付けるとか、外部圧力パル

スを加えるなどの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。

過酷事故時に、100トンにも及ぶ溶融物が水プールに落下した場合は、(1)少量の水を溶融物と水プール底部や壁との間に囲い込んだり、(2)水を含む固形物を囲い込んだりする可能性がある。これらの場合は囲い込まれた水が急蒸発して、水蒸気泡が急膨張することで、水蒸気爆発のトリガーとなる可能性がある。また、外部から流入する水流の発生や水温の急変(水温低下)や水素爆発による圧力パルスなどもトリガーになりうる。

原子力規制委員会が、これまでの「考え方」において示したように「自発的な水蒸気爆発が起っていないから過酷事故時の水蒸気爆発を考慮する必要がない」というのであれば、火山におけるマグマ水蒸気噴火も、金属工場での鉄やアルミニウムなどによる水蒸気爆発事故も起こらないということになってしまう。すなわち、過酷事故時に水蒸気爆発が発生する蓋然性は高い。したがって、発生を前提とした対策のない申請書や、これを適切とした審査書には水蒸気爆発の及ぼす深刻な事態に対する適切な認識が反映されていないと考える。

原子力規制のあり方はこれでいいか

これまで申請のあった電力会社の申請書では「原子炉圧力容器外の溶融燃料—冷却材相互作用」においては、「水蒸気爆発の発生の可能性は極めて低い」とし、通常の沸騰(膜沸騰)による水(冷却材)の蒸発が起こるだけで、この時の「圧力スパイクについて考慮する」ことのみに対応すれば事足りるとしている。申請書では、九州電力、関西電力、四国電力のいずれも、まったくと言ってよいほど同じ文言が並んでいる。

審査する原子力規制委員会は、圧力スパイクのみを考慮すればよいという根拠を示すことを求めてはいるものの、水蒸気爆発が起こらなかった実験結果のみで構成した電力会社の言い分を丸呑みする形で審査書を作成している。本来であれば、

電力会社は実際の事故時をできる限り再現した条件での実験を行うべきであろう。すなわち、実機に近いスケールの圧力容器下部の形状を忠実に再現したプールと、量的には少なくとも数トン規模の溶融物を投入する実験を行ったうえで、水蒸気爆発が発生した場合にどのような対策を立てるのかを示さなければいけない。

そもそも水蒸気爆発に関する研究は、1970年代から高速増殖炉の開発に伴って開始された経緯がある。日本でも、日本原子力学会、日本機械学会、日本伝熱学会などを舞台にして、いくつかの大学や日本原子力研究所(現日本原子力研究開発機構)などで行われた研究が報告され、その論文が専門誌に掲載されることで知識が蓄積されてきた。従って、これらの学会は、水蒸気爆発が発生するためのメカニズムとして膜沸騰状態を破壊するためのトリガーが必要なこと、金属工場などでの実際の事故では、何らかのトリガーが存在して、水蒸気爆発が生じたものであることなどから、単に「水に溶融物を投入して自発的に水蒸気爆発が発生しなければ、水蒸気爆発は起こらない」とすることは危険であることを、今回の規制委員会の審査に対して情報提供する立場にあったと考える。しかしながら、寡聞にして、筆者らは上記諸学会が電力会社や規制委員会に対してそのような指摘を行ったという事実は知らない。専門家集団である学会の社会的責任は企業や国家などの権力の意向を付度することではなく、国民の幸福を守ることにある。

前述の第7回東海フォーラムにおいて更田豊志氏(原子力規制委員会委員)はそのまとめにおいて、「その意味で、安全研究に携わる者は、事業者に対してのみならず、規制を行う機関に対しても批判的な声を挙げるのが出来なければならない」と主張している。こうした発言と、現在の水蒸気爆発をめぐる審査とは大きなズレがあると言わねばならない。

原子力規制の実務においては、規制基準が必ずしも具体的な判断基準を網羅しているわけではなく、水蒸気爆発等の大規模事故に関わる不確実な

ことがらに関しては、ひとつひとつ検証していく作業が不可欠である。安全の原理は、取り返しが見つからない不可逆な事態を避けるため、不確実なことがらについてはより厳しい仮定に立って判断し、論理的に発生が否定できない場合には、発生するものとして考えて、その事故プロセスのどこかで確実に進展を遮断する対策を要求するべきである。抽出されたあらゆる懸念が払拭されるまでは認可してはいけない。一部の都合のよい知見に頼って安易に規制基準に適合していると結論することは、結果として安全神話の再構築につながる。

大規模事故の危険性が科学的に指摘されている時に、これを無視して事業者が設置し、それを規制委員会が追認している。このまま再稼働してこのような事故に至った場合には、未必の故意として刑事罰の対象になると思われる。安全とは、受け入れ不可能なリスクがないことである。

まとめ

東京電力福島第一原発の事故ではメルトスルーが起こったが、大規模な水蒸気爆発は発生しなかった。これは原子炉下部に水プールがなかったことによる。水蒸気爆発は、溶融物に水をかけても発生するが水プールに溶融物を落とすほうがはるかに発生しやすい。しかし、九州電力、関西電力、四国電力ではシビアアクシデント対策として、溶融燃料を水のプールに落下させて冷却する方法を採用している。これは水蒸気爆発を発生させる可能性が高く、自殺行為と言わざるを得ない。

これを避けるためにヨーロッパではコアキャッチャーを設けることを標準としたのである。水蒸気爆発に関する根拠のない憶測にもとづく審査はただちに改めなければならない。

謝辞

本稿作成に当たって、原子力市民委員会の筒井哲郎さんのお世帯になった。記して感謝を申しあげる。

文献

- 1—高島武雄・飯田嘉宏：蒸気爆発の科学——原子力安全から火山噴火まで、葦原野(1998)p. 8
- 2—佐藤一男：改訂・原子力安全の論理，日刊工業新聞社(2006) p. 215
- 3—後藤政志：「原発をつくった」から言えること，クレヨンハウス(2011)p. 42
- 4—後藤，前掲書，p. 43
- 5—井野博満・滝谷祐一：「不確実さに満ちた過酷事故対策」，科学，84(3)，333(2014)
- 6—川内原子力発電所第1号機の工事の計画の認可処分(原規規発第1503181号)に対する異議申立書，2015年6月26日，北岡逸人・他うちの「後藤政志 意見陳述書」
- 7—森山清史・他：「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，<http://jollssrch-inter.tokai-cs.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Research-2007-072.pdf>
- 8—杉本純・他：「ALPHA 計画溶融物落下水蒸気爆発実験——現象の把握とエネルギー変換効率の推定」，JAERI-M92-035(1992)，p. 3. http://www.jaea.org/nls/collection/NCLCollectionStore/_Public/23/059/23059153.pdf
- 9—J. H. Song et al.: Spontaneous Steam Explosions Observed In The Fuel Coolant Interaction Experiments Using Reactor Materials, Journal of the Korean Nuclear Society, 33(4), pp. 344-357(2002)
- 10—J. H. Song et al.: Fuel coolant interaction experiments in TROI using a UO₂/ZrO₂ mixture, Nuclear Engineering and Design, 222(1), pp. 1-15(2003)
- 11—NEA/GSNI/R(2014)15, OECD/SERENA Project Report - Summary and Conclusions, Feb. 2014

高島武雄 たかしま たけお

元横浜国立大学工学部(理理工学部)，工学博士。著書：「蒸気爆発の科学——原子力安全から火山噴火まで」葦原野(1998年，飯田嘉宏と共著)。

後藤政志 ごとう まさし

NPO 法人 APAST 理事長，原子力市民委員会委員。明治大学，芝浦工業大学，国学院大学非常勤講師。博士(工学)。著書：「「原発をつくった」から言えること」クレヨンハウス(2011年)，「福島原発事故はなぜ起きたか」原研書店(2011年，井野博満，瀬川嘉之と共著)，「徹底検証 21世紀の全技術」現代技術史研究会編，原研書店(2010年，共著)，「福島事故に至る原子力開発史」原子力技術史研究会編，中央大学出版部(2015年，共著)