



水蒸気爆発の脅威に対する規制及び対策の 欠落

準備書面（57）

2025. 9. 2
原告訴訟代理人
弁護士青木秀樹

本日述べること

- 1 水蒸気爆発対策は無策でいいのか。
- 2 水蒸気爆発のメカニズムと爆発発生。
- 3 原発で水蒸気爆発は起こると考えることは科学者の常識。
- 4 水蒸気爆発に対する福島原発事故以前と以後で規制はどのように変化したか。
- 5 新規制基準における水蒸気爆発対策は無策。
- 6 まとめ。

水蒸気爆発対策は無策でいいのか。

福島第一原発事故で起きないと言われていた 水素爆発が起きた。



水素爆発の威力

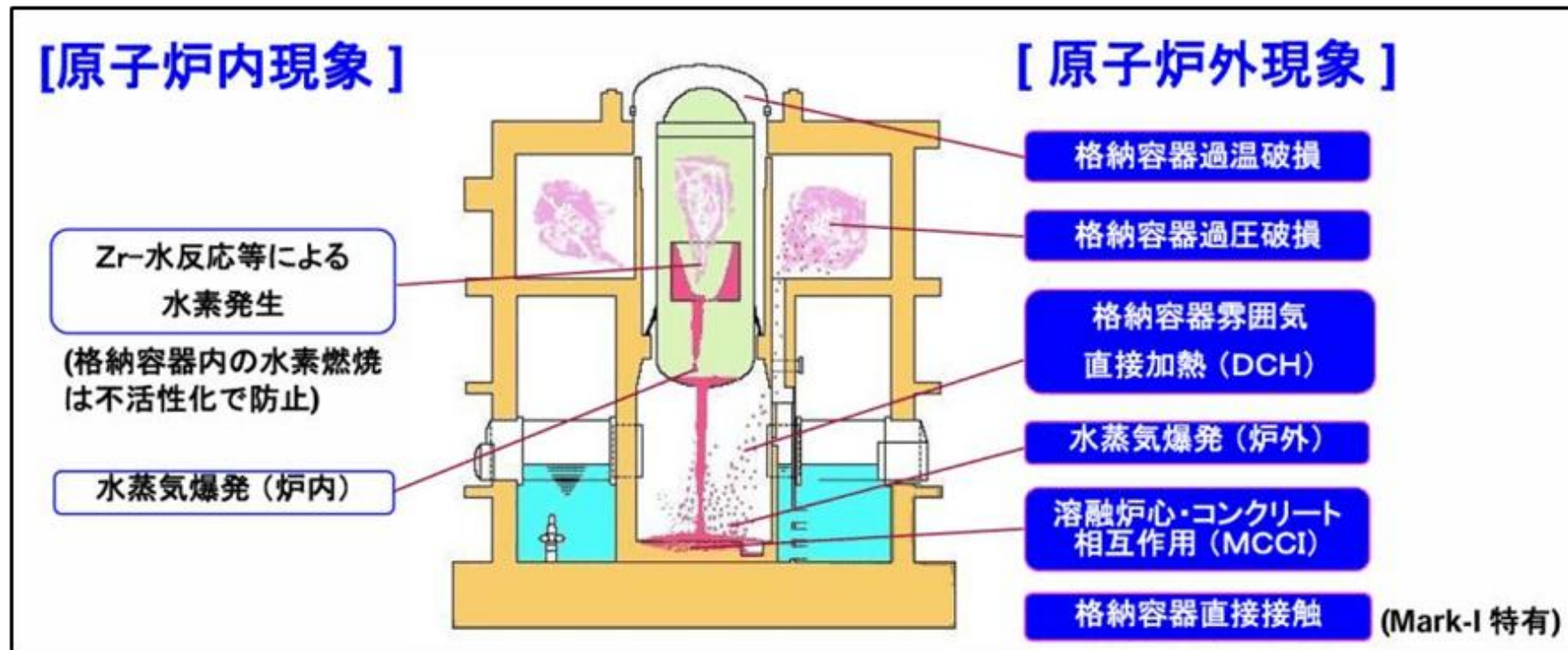
水素爆発とは、水素が酸素と結合して水を生じる化学反応に伴う爆発である。気体の急速な熱膨張の速度が音速を超える現象を「爆轟」といい、強い衝撃波（爆轟波）が混合ガス内を伝播する。爆轟による衝撃波の速度は、数千m/s オーダー（音速は概ね 340 m/s）、爆轟波の波面背後の圧力は、数十気圧 オーダーとなる。

水蒸気爆発の威力

水蒸気爆発とは、水が高温の物質と接触することにより、急激に気化する（水蒸気になる）ことで発生する爆発現象である。水が水蒸気になると、体積は約1670倍になる。水と高温の熱源が接触して水蒸気爆発が起きた場合、約1670気圧オーダーの爆発が起きることになる。

この約1670気圧とは、1cm²に約1690キロの力（普通乗用車10台分の重さ）が加わるほどの強さであり、ほとんどの潜水艦が耐えられない深海1万メートルの水圧約1000気圧を大きく上回る圧力である。

格納容器内の水蒸気爆発



第10回発電用軽水型原子炉の新安全基準に関する検討チームより

水蒸気爆発は起きないのか。

水蒸気爆発 ⇒ 格納容器破損 ⇒ 格納容器外に放射性物質放出

水蒸気は細粒化した核燃料を取り込んでいる。放射能被害は水素爆発よりも大きくなることありうる。

水蒸気爆発は、溶融燃料と水の接触により起こる。福島第一原発では压力容器下部に水槽が無かった。大間原発では、「压力容器破損前の压力容器下部ドライウエルへの注水により、下部ドライウエルには水位 3 mの水が確保されているものとする」になっている。大間原発は水位 3 mの水が溶融燃料を待ち受ける設計になっている。

それでも、水蒸気爆発は起きるはずがないと考えて規制は無しにしていいいのか。

水蒸気爆発のメカニズムと爆発発生 の事実

水蒸気爆発とは



水蒸気爆発のメカニズム

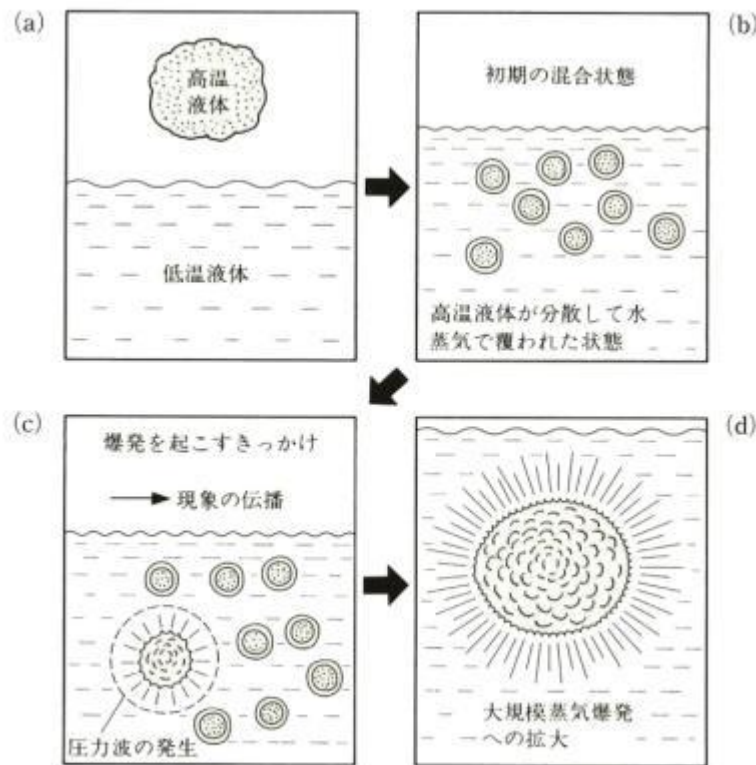
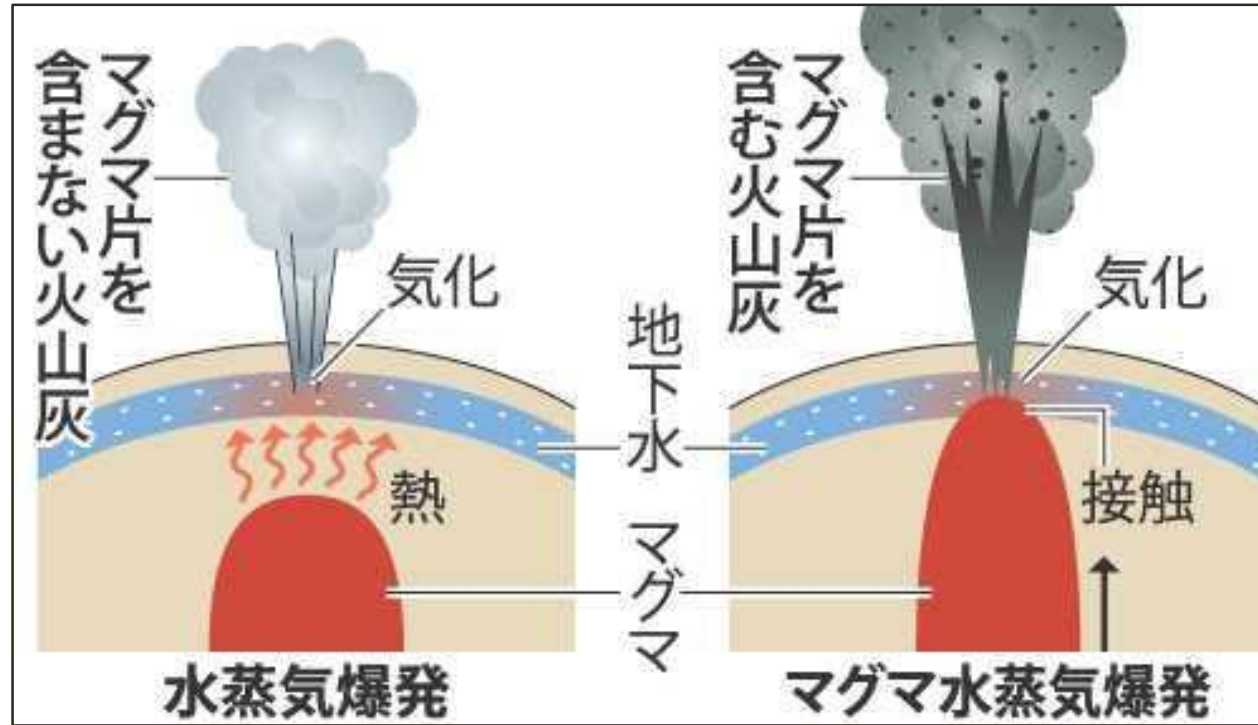


図 4・4 蒸気爆発の概念を定性的に示したもの

- (a) 溶融金属や溶融炉心などのような高温液体が落下する
- (b) 高温液体の一部分は、水中では液滴となってバラバラに細くなる。液滴は水蒸気膜に覆われた状態（膜沸騰という）で分散する。この状態を粗混合（あるいは予混合）状態という。
- (c) なんらかの原因で膜沸騰蒸気膜が1か所で壊れると、高温液体と水の直接接触によって瞬時に大量の水蒸気泡が発生する。この段階をトリガリングという。
- (d) 発生した水蒸気泡は急成長し圧力波が発生する。この圧力は瞬時に水中を伝播して、周囲の蒸気膜を破壊し、斉時的に水蒸気泡生成を行うことで周囲の構造物を破壊する大規模な爆発となる。

現実には発生している水蒸気爆発（自然界）



図表 6 産総研 山元孝広 マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火（甲 C 2 2）より

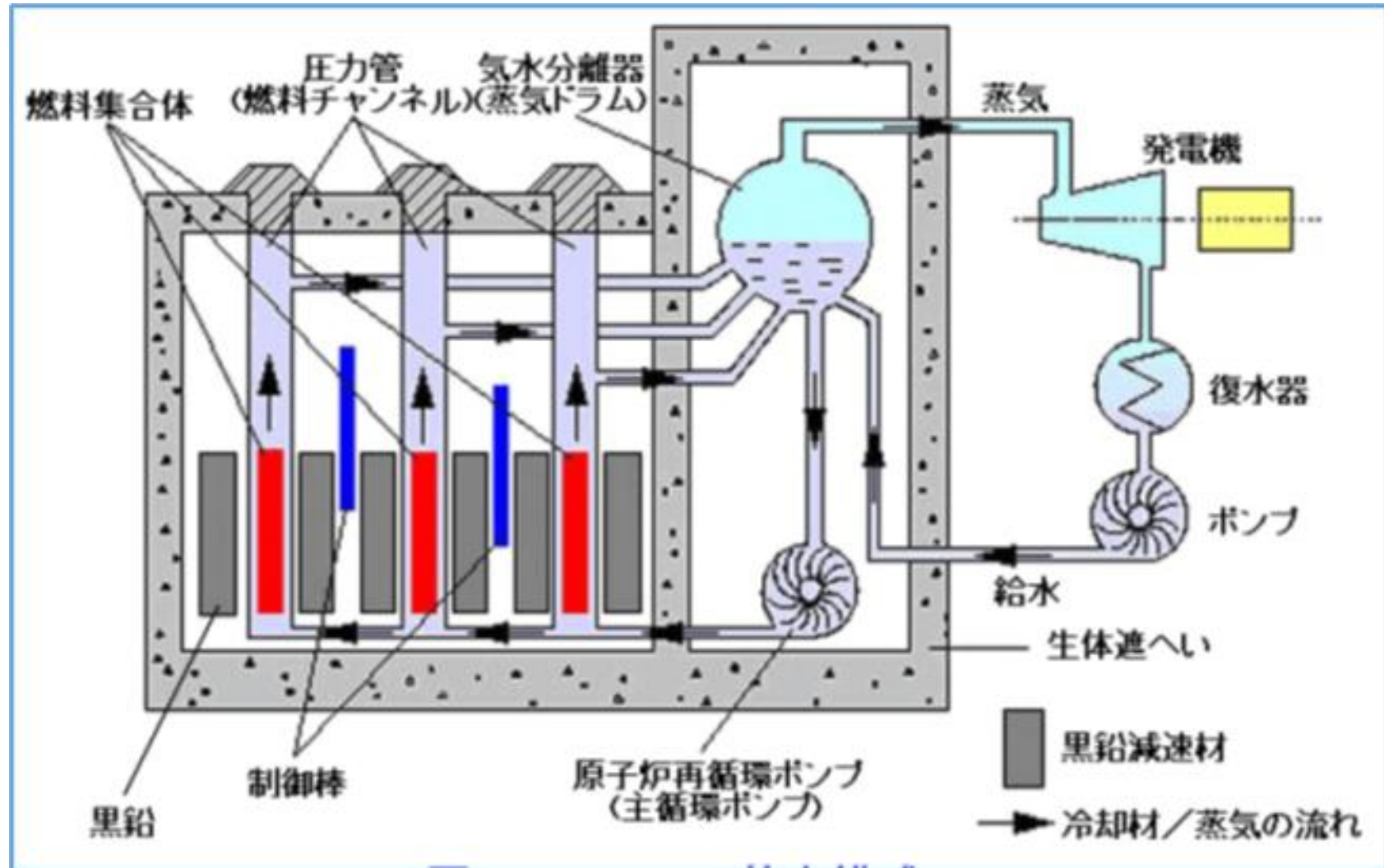
現実が発生している水蒸気爆発（自然界）

自然界での水蒸気爆発の事例



- ① 1888 年に水蒸気爆発噴火した会津磐梯山
- ② 1986 年、南硫黄島北東、福德岡ノ場での海底噴火の瞬間
- ③ 1989 年、伊豆沖での海底噴火

現実に発生している水蒸気爆発（原発）



現実が発生している水蒸気爆発（原発）

1986年4月26日、旧ソ連のチェルノブイリ原子力発電所4号機（黒鉛減速軽水沸騰冷却型-RBMK型）事故。

「出力暴走の結果として、2回の爆発音が約2～3秒の間隔をおいて聞かれた。1度目の爆発は出力の急激な上昇によって、燃料が溶融飛散して圧力管に当たるとともに冷却材の水に接触して水蒸気爆発を起こしたものの」（原子力百科事典ATOMICA、原子力ハンドブック）。

溶融した黒鉛と冷却材の水とが接触して水蒸気爆発を起こしたという見方もある（失敗知識データベース—失敗百選）。

現実に発生している水蒸気爆発（産業界）

2008.1.21 長岡市鋳物工場「興和」

2012.10.20 マツダ

2013.4.9 N伸銅

2014.1.14 小名浜製錬

2015.4.18 J F E スチール西日本製鉄所

2015.9.1 北九州のメッキ工場

2017.4.25 旭川市の檜山鉄工所

2017.5.1 掛川市大渕M工場

2018.7.6 朝日アルミ産業岡山工場

2018.7.20 浦添市クリーンセンター

2021.4.26 太平洋セメント埼玉工場

2022.9.6 いわき大王製紙工場

**原発で水蒸気爆発は起こると考えることは
科学者の常識**

元原子力安全委員会委員長・佐藤一男氏

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。

水蒸気爆発というのは、非常に高温の溶融物と水が接触した時に、極度に急速な蒸発が起こって、爆発的な様相を呈する現象である。（改訂原子力安全の論理 甲C21・215頁）

日本原子力研究開発機構（ J A E A ）

炉容器外においては溶融炉心が比較的低压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、強い水蒸気爆発の発生可能性を除外できない。（甲C20 日本原子力研究開発機構（ J A E A ））

※サブクール度：飽和温度と実際の液温との差をサブクール度という。例えば大気圧下75℃の水のサブクール度は、（飽和温度）100℃－75℃＝25℃である。サブクール度が低い（水温が高い）と水蒸気爆発は発生可能性が低い。サブクール度が高い（水温が低い）と水蒸気爆発の可能性は高い。

日本原子力研究開発機構（JAEA）の想定する格納容器破損事故シナリオ（甲C20）

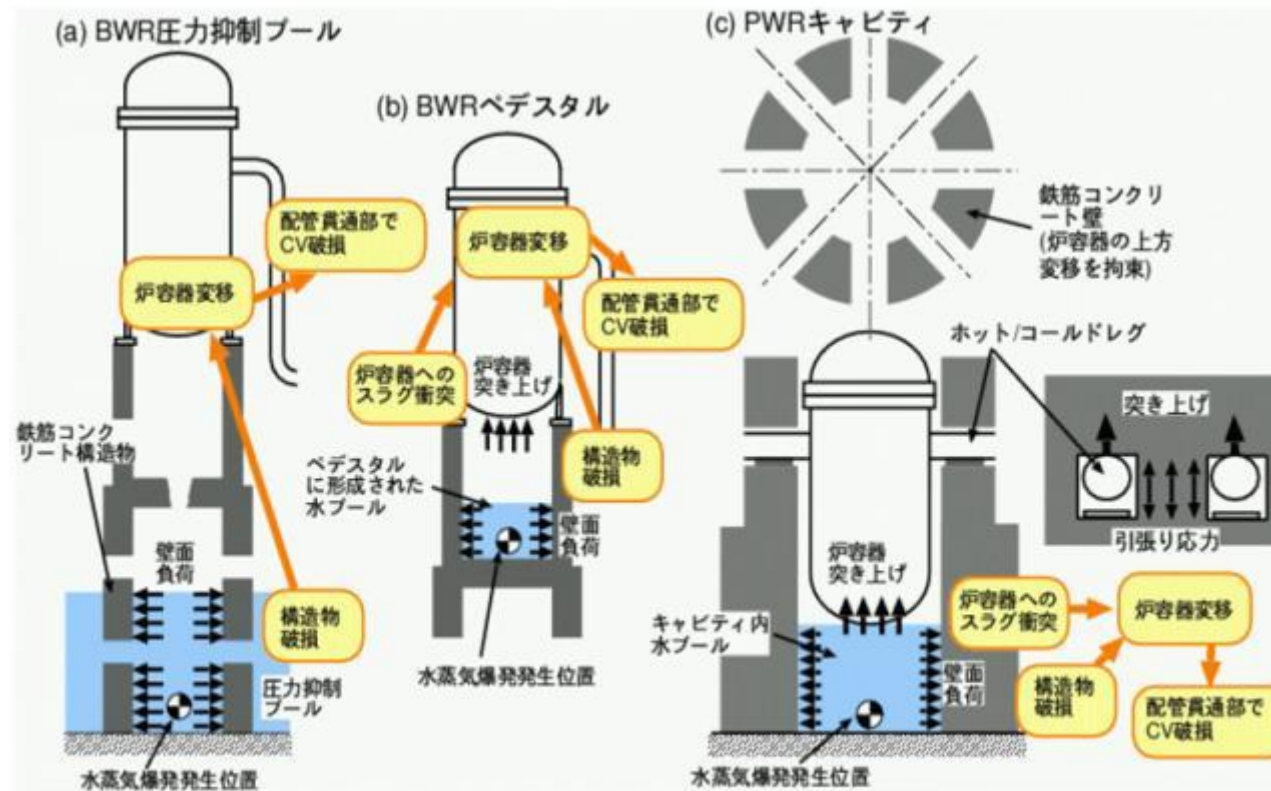


図3 BWR及びPWRモデルプラントにおける炉外水蒸気爆発による格納容器破損シナリオ¹³⁾

日本原子力研究開発機構（JAEA）の想定 する格納容器破損事故シナリオ（甲C20）

一つは、**圧力抑制プール内水蒸気爆発** です。

ペデスタル床を溶融貫通した炉心溶融物が、圧力抑制プールの炉容器直下ペデスタル円筒部分の中に落下し、水蒸気爆発が発生する。

ペデスタル壁構造物の破損により、炉容器の支持が失われ、炉容器が変位する。これにより主蒸気管等の配管が変位し、格納容器の配管貫通部が破損する

日本原子力研究開発機構（JAEA）の想定 する格納容器破損事故シナリオ（甲C20）

もう一つは **ペデスタル領域水蒸気爆発**です。

炉容器の下部ヘッドを溶融貫通した炉心溶融物が、ペデスタル床上に形成された水プールに落下し、水蒸気爆発が発生する。

水蒸気爆発負荷に起因する炉容器の変位により、主蒸気管等の配管が変位し、格納容器の配管貫通部が破損する。

**水蒸気爆発対策は国際基準である I A E A 基準
の要求事項**

原発で水蒸気爆発が起きると考えてIAEAは 対策を要求

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（甲C 2 6 ・ 6 - 5 項（7 2 頁））。

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（甲C 2 6 ・ Ⅲ - 1 0 項（1 1 0 頁））。

めったに起きないことを理由にして水蒸気爆発を過酷事故から除外するようなことがあってはならない

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（甲C 2 7 原子力発電所のシビアアクシデントマネジメント計画 ・ 3 - 3 項）

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、P S A 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（甲C 2 7 ・ 3 - 5 項）

水蒸気爆発に対する日本の規制は福島原発事故以前と以後でどのように変化したか

福島第一原発事故以前の我が国の水蒸気爆発 に対する規制

原子力施設のリスクは設計基準事象への対処の範囲（IAEA—INSAGの多重防護策の定義による**第3の防護レベルまで**）の**規制要求で十分に低く抑えられ**ているとし、アクシデントマネージメントの整備はこの低いリスクを一層低減するものとして位置付けられ原子炉設置者の自主的整備に委ねられ、規制対象とはされていなかった。

「発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策としてのアクシデントマネージメントについて」（平成4年5月28日原子力安全委員会決定、平成9年10月20日一部改正）

福島第一原発事故後の旧規制の考え方の変更

「リスクが十分に低く抑えられている」という認識や、原子炉設置者による自主的なリスク低減努力の有効性について、重大な問題があったことが明らかになった。

シビアアクシデントによって大量の放射性物質が環境中に放出されるような事態発生の可能性を極めて低いものにするため、シビアアクシデントの発生防止、影響緩和について、合理的に実行可能な全ての努力を行うべきであり、シビアアクシデント対策の整備を下記の方針で進めることが適切であり、平成4年決定は廃止（甲C28 平成23年決定）

シビアアクシデントに係る安全評価方針

3. シビアアクシデントに係る安全評価

シビアアクシデントの発生防止、影響緩和に係る安全評価は、原子炉のリスクを的確に把握し、これを効果的に抑制する方策を見いだすことを目的とするものであるため、多様な事故シーケンスを体系的に取り扱う確率論的安全評価によってリスク上重要なシーケンスを見だし、これらについて決定論的安全評価を行うことを基本とし、事故事象をできるだけ現実的に予測すること（最適予測）に重点を置くべきである。

ここでは、シビアアクシデント時の事象進展や設計上の想定を超える自然事象の発生確率など不確かさが大きい領域や、発生確率はごく低いものの発生した場合の影響が大きい事象についても取り扱う必要がある。その際、専門家による工学的判断も用いて、確率論的および決定論的な安全評価から得られる情報をリスクの低減に遅滞なく活用するとともに、新たな科学的な知見や運転経験から得られる情報を反映させ、その不確実さを低減する不断の努力が必要である。

政府事故調査・検証委員会中間報告

たとえどんなに発生の確率が低い事象であっても、「あり得ることは起こる。」と考えるべきである。発生確率が低いからといって、無視していいわけではない。起こり得ることを考えず、現実になんか起こったときに、確率が低かったから仕方がないと考えるのは適切な対応ではない。確率が低い場合でも、もし起きたら取り返しのつかない事態が起きる場合には、そのような事態にならない対応を考えるべきである（甲C29・506頁）

政府事故調査・検証委員会最終報告

発生確率が低いということは発生しないということではない。発生確率の低いものや知見として確立していないものは考えなくてもよい、対応しなくてもよいと考えることは誤りである。

さらに、「あり得ないと思う」という認識にすら至らない現象もあり得る、言い換えれば「思い付きもしない現象も起こり得る」ことも併せて認識しておく必要がある（甲C30・444～445頁）。

新規制基準における水蒸気爆発に 対する規制はどうなったか

新規制基準における水蒸気爆発に係る規則

重大事故が発生した場合（炉心の著しい損傷が発生した場合）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」（実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則 37条2項）。

水蒸気爆発（原子炉圧力容器外の溶融燃料—冷却材相互作用）は必ず想定すべき格納容器破損モードの一つ（同項解釈 2－1（a）。（甲 C 3 1・8 0 頁）

水蒸気爆発に係る審査ガイド「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」

しかし、水蒸気爆発により原子炉格納容器が破損する場合を想定し、そのための対策を検討するものとはなっていない。水蒸気爆発の発生可能性が極めて低いことを示すことにより審査が通るようになっている（甲c32・16頁）。**圧カスパイク：水蒸気爆発に至らない圧力変化であって、水蒸気爆発ではない。**

（注）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、水蒸気爆発の発生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（圧カスパイク）の可能性があることから、その影響を評価する。

他の格納容器破損防止対策は具体的対策が規定されている

(1) 格納容器過圧・過温破損

対策例：格納容器スプレイ代替注水設備、格納容器圧力逃し装置又は格納容器再循環ユニット

(2) 高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱

対策例：原子炉冷却材圧力バウンダリの減圧設備

(3) 水素燃焼

対策例：グロープラグ式イグナイター、触媒式リコンビナ（PAR）、原子炉格納容器内の不活性化（窒素注入）

(4) 格納容器直接加熱（シェルアタック）

対策例：原子炉格納容器下部注水設備、原子炉格納容器バウンダリの防護

(5) 溶融炉心・コンクリート相互作用

対策例：原子炉格納容器下部注水設備、原子炉格納容器バウンダリの防護

格納容器破損防止の具体的対策の有無

- | | |
|----------------------------------|---|
| (1) 格納容器過圧・過温破損 | 有 |
| (2) 高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱 | 有 |
| (3) 水素燃焼 | 有 |
| (4) 格納容器直接加熱（シェルアタック） | 有 |
| (5) 溶融炉心・コンクリート相互作用 | 有 |
| (6) 水蒸気爆発（原子炉圧力容器外の溶融燃料—冷却材相互作用） | 無 |

炉心損傷等防止ガイドを策定した際の原規委の判断過程

更田委員：F C I に関して言うと、・・・実態としては発生頻度が極めて小さいということで、明示的に水蒸気爆発に対して対策はとられていないのが事実

圧力容器の直下にある程度以上の水深を設けているものが、そして、サブクールが大きければ大きいほど起きやすいだとか、そういった色々がある

水蒸気爆発の発生頻度が十分低く抑えられているかという整理はあるんだろうと思いますけれども、明示的にこの対策が水蒸気爆発対策であるかのような整理をするというのはふさわしくないと思います

(発電用軽水型原子炉の新安全基準に関する検討チーム第9回会合 甲C33)

炉心損傷等防止ガイドを策定した際の原規委の判断過程

更田委員：水蒸気爆発、・・・非常に大きな不確かさがあると。

じゃあ、規模を、スケールをどんどん大きくしていったら起きないかと言い切れるかというと、そういった実験というのはないから何とも言いようがないと思いますけれども。

（新規制基準に関する検討チーム第23回会合 甲C34）

F C I を誘発する対策を規定する新規制基準

炉心の著しい損傷が発生した場合において原子炉格納容器の破損を防止するため、溶融し、原子炉格納容器の下部に落下した炉心を冷却するために必要な設備を設けなければならない（設置許可基準規則第51条）。

これは、M C C I を抑制すること及び溶融炉心が広がり原子炉格納容器バウンダリに接触することを防止するために行われるものである（同解釈）。

M C C I 対策のために冷却設備を設けることを要求し、具体的には、原子炉格納容器下部注水設備を整備することとされている（同解釈）。

しかし、溶融炉心が落下して、それを水と接触させることは、水蒸気爆発を発生させるための方策である。新規制基準は、水蒸気爆発対策を求めないばかりか、水蒸気爆発の発生の可能性を軽視して、水蒸気爆発を誘発する（発生可能性を高める）という矛盾した基準となっている

水蒸気爆発に係る具体的審査基準の不合理性

行政法における判断過程統制審査

行政裁量が認められる場合の裁量権の逸脱・濫用が認められる場合としては、
①法律の目的違反、②不正な動機、③平等原則違反、④比例原則違反

⑤裁量権行使の前提となる事実を誤認していた場合には、誤認された事実が存在するものとしてなされた裁量権の行使も違法とされる場合がある。

そして、これらの判断過程統制においては、考慮事項に着目した審査が行われ、
①考慮すべき事項を考慮したか（要考慮事項の不考慮）、②考慮すべきでない事項を考慮していないか（他事考慮）のほか、③各考慮事項について重要度を評価し、当該評価を誤った場合にも裁量権の逸脱濫用を認める

具体的審査基準は、法の趣旨及びこれを踏まえて策定された設置許可基準規則に反する

新規制基準は、確立された国際基準を踏まえることを要求し（原基法2条2項）、国際基準の重要な原則の一つである深層防護を徹底した基準の策定を要求している。

深層防護は前段否定、後段否定の考えに依拠し、各層で安全対策は終結すると考えるのではなく、前段の防護レベルにおける対策が失敗することを想定して、後段の防護レベルの対策を講ずるべきであり（前段否定）、また、後段の防護レベルにおける対策に期待して前段の防護レベルにおける対策を緩やかにしてはならない（後段否定）。

水蒸気爆発の発生可能性が極めて低ければ対策を講じなくてよいというのは、3層までで安全対策は終結すると考えるものであり、前段否定の考えに反する。5層があるから水蒸気爆発対策を講じないというのであれば後段否定の考えに反する。

対策を講じなくてよいとする炉心損傷等防止ガイドは、深層防護の徹底を要求する法の目的に反するものであって、判断基準の①（法の目的違反）に該当する。

具体的審査基準は、法の趣旨及びこれを踏まえて策定された設置許可基準規則に反する

炉心損傷等防止ガイドは、「発生確率はごく低いものの発生した場合の影響が大きい事象についても取り扱う必要がある」という平成23年決定（法の趣旨）にも反するものであって、判断基準の①（法の目的違反）に該当する。

発生確率が低いことを理由に、実質的な対策を講じないことを許容する炉心損傷等防止ガイドは、「必ず想定する格納容器破損モード」として水蒸気爆発を定めている設置許可基準規則にも反しており、判断基準の①（法の目的違反）に該当する。

炉心損傷等防止ガイドは、「発生確率はごく低いものの発生した場合の影響が大きい事象についても取り扱う必要がある」という平成23年決定（法の趣旨）にも反するものであって、判断基準の①（法の目的違反）に該当する。

発生確率が低いことを理由に、実質的な対策を講じないことを許容する炉心損傷等防止ガイドは、「必ず想定する格納容器破損モード」として水蒸気爆発を定めている設置許可基準規則にも反しており、判断基準の①（法の目的違反）に該当する。

具体的審査基準は、原子炉等規制法ないし原子力基本法の趣旨に反する

政府事故調報告書「たとえ確率論的に発生確率が低いとされた事象であっても、一旦事故・災害が起こった時の被害の規模が極めて大きい場合には、然るべき対策を立てることが必要である...（略）...原子力発電所のシビアアクシデントのように広域にわたり甚大な被害をもたらす事故・災害の場合には、発生確率に関わらずしかるべき安全対策・防災対策を立てておくべきである」

原基法2条3項は「福島第一原子力発電所の事故を防止することができなかつたことを真摯に反省した上で、原子力事故...（略）...の発生を常に想定し、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つて、これを行うものとする。」

水蒸気爆発の発生は常に想定してその防止対策を真摯に検討しなければならず、めったに起こらないことを確認すればよいとする具体的審査基準は、原基法の趣旨に反する。判断基準の①（法の目的違反）に該当し、裁量権の逸脱・濫用が認められる。

F C I による事故を誘発する設置許可基準規則は不合理である

設置許可基準規則は、「災害の防止上支障がないものとして原子力規制委員会規則で定める基準に適合する」（炉規法43条の3の6第1項4号）と定められている原子力規制委員会規則である。同規則は、法律の委任の趣旨に従って制定されなければならない、法律の委任の趣旨である「災害の防止上支障がないもの」を逸脱・濫用している場合は同規則の制定は違法となる。

水蒸気爆発は高温熔融物と水が接触すれば発生し得るのであるから、炉心の著しい損傷が発生した場合において、原子炉格納容器の下部に落下した熔融炉心を冷却するために原子炉格納容器下部注水設備を整備すること（設置許可基準規則第51条、同解釈）は、水蒸気爆発を誘発する設備を要求するものであり、炉規法の委任の趣旨を逸脱・濫用する（判断基準の①に該当）。

本件原発において水蒸気爆発対策は存在しない

本件原発における水蒸気爆発に係る基本的な考え方

水蒸気爆発については、これまでに実ウランを用いて種々の実験が行われているが、外部からの強制的なトリガー（外部トリガー）を与えない場合には水蒸気爆発は発生しないという結果が得られている。外部トリガーを与えた場合でも水蒸気爆発に至らなかったケースが複数確認されており、また、水蒸気爆発が発生した場合においても機械的エネルギーへの変換効率は小さく、大規模な水蒸気爆発には至っていない。よって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。

ただし、溶融炉心から圧力容器外の冷却材への伝熱による水蒸気発生に伴う急激な格納容器圧力の上昇（圧力スパイク）の可能性があることから、その影響を評価し、格納容器が破損しないことを確認する（F 6・10 - 7 - 111頁）。

本件原発における水蒸気爆発対策の欠如

格納容器破損モード「溶融炉心・コンクリート相互作用」への対策として設けられているところの、圧力容器破損前の下部ドライウェルへの注水（下部ドライウェルには水位3 mの水を確保する）を考慮した場合でも溶融炉心から下部ドライウェルの冷却材への伝熱による水蒸気発生に伴う急激な格納容器圧力の上昇（これは圧力スパイクのことである）によって、格納容器が破損しないことを確認する（F 6・10 - 7 - 112頁）

水蒸気爆発対策は何もなく、しかも「溶融炉心・コンクリート相互作用」への対策を優先して水蒸気爆発を誘発する不合理な基準に従った対策を導入している

結語

まとめ

水蒸気爆発については、設置許可基準規則において、格納容器破損モードの一つとして必須とされながらも、炉心損傷等防止ガイドでは、「発生可能性が極めて低いことを示すこと」を解析条件とすることによって水蒸気爆発対策を不要とする規制内容となっている。これは、水蒸気爆発を第4層として取り上げながら、第3層の規制で十分とするものであり、新規制基準作成の重要な指針を無視するものである。このような水蒸気爆発に関する規制は、**①考慮すべき事項を考慮しないで作成された規制である。**

設置許可基準規則では、MCCI対策のために格納容器に水を張ることを要求しており、水蒸気爆発を誘発することになる設備であることを無視している。これは、MCCI対策を優先させたために水蒸気爆発対策を悪化する結果を招いており、規制委員会は、災害の防止上支障がない規則を定めることを委任されているにもかかわらず、その委任の趣旨を逸脱する規則を制定している（①法の目的違反）。

被告電源開発はこれらの不合理な規制基準に従って設計を行っており、大間原発の水蒸気爆発対策は明らかに不合理である。