

再稼働を認めた規制基準の 技術的問題

2015. 1. 18

中西正之

緊急シンポジウム

「川内原発再稼働の是非を問う」

2014年10月29日

コアキャッチャーとスプレーは同等か

川内原発をめぐる記事から拾ったもの。“要確認”の記述である。住民からは、「ヨーロッパではメルトダウンに備えてコアキャッチャーが装備されている。なぜコアキャッチャーを装備しないのか？」との質問が出ました。

規制庁は下記の設備が「コアキャッチャーと同等の安全性を確保している」と答えています。

その設備とは、緊急時には、圧力容器の上から水をスプレーし、それが格納容器の下部に溜まって、水深1.5メートルのプールができ、溶け落ちた核燃料を受け止めて冷やすというものらしい。

これに対し元燃焼炉設計技術者の中西雅之氏が下記のごとく指摘している。

溶融した核燃料に限らず、鉄や銅などの高温の溶融物が大量の水と接触すると、水蒸気爆発の危険があり、その対策は高温溶融炉設計の常識です。水を張って溶け落ちた核燃料を受け止めるなどとんでもない

水蒸気爆発といえば、御嶽山の噴火でおなじみだ。あれはマグマと地下水の接触だったようだが、今度は核物質だから、放射性物質があので噴火の煙のように世界中に撒き散らされることになる。素人で分からないが、中西氏が正しいなら規制委員会が間違っているか**ウソをついているか**ということになる。

「世界最高水準の規制基準」という看板をめぐるガチンコ勝負だ。

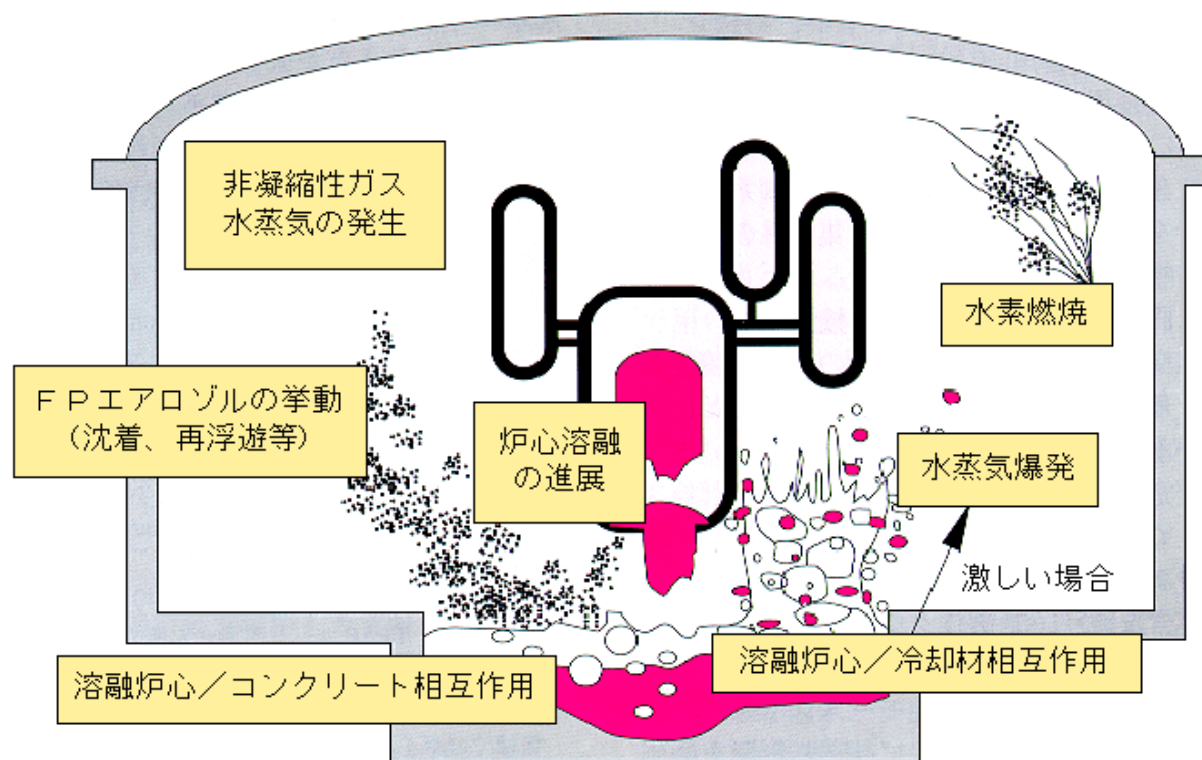


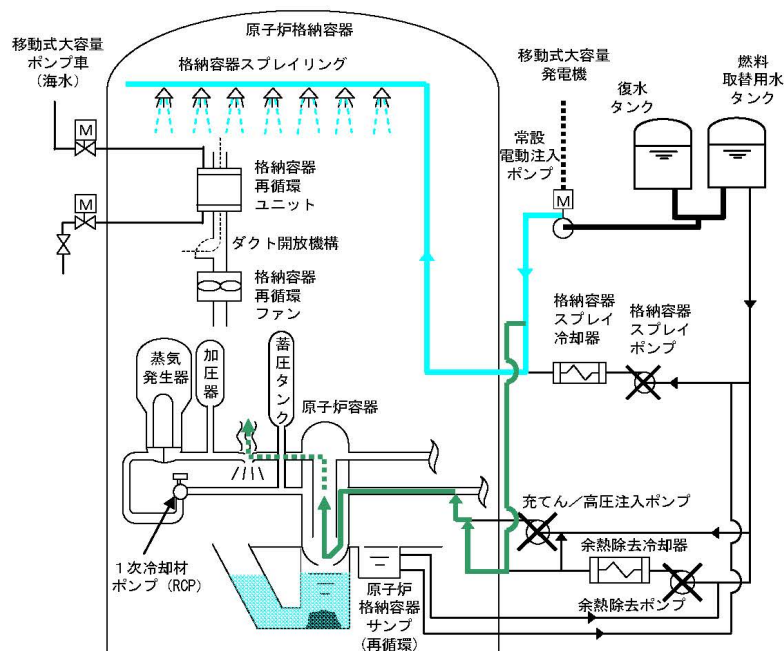
図1 シビアアクシデント時の原子炉格納容器内の主要な現象

[出典]日本原子力研究所：原子力安全性研究の現状 平成7年（1995年10月）、p38

1. 過酷事故対策はメルトダウン・**メルトスルー**対策が最も重要
圧力容器の中で、核燃料が溶けるのがメルトダウン
溶融核燃料が圧力容器や格納容器を破いて溶け落ちるのがメルトスルー
2. メルトスルーが起きると、**MCCI**（溶融炉芯・コンクリート相互作用）
が起きる
溶融炉心が地中に潜り込んで地下水を汚染する
高熱でコンクリートを分解し、**大量の水素とCOを発生し爆轟を引き起こす**
3. スリーマイル原発、チェルノブイリ原発の過酷事故を経験し、海外では真剣にMCCI対策を行ってきた。
4. 海外のMCCI対策は容器内コリウムの保持（**IVR**）または**コアキャッチャー**
加圧水型の原発は**格納容器貯水冷却**で再稼働申請書提出。

19. C/Vスプレイ注水（原子炉下部キャビティ水張り）を優先する理由

雰囲気気圧力・温度による静的負荷 【大破断LOCA+ECCS注入失敗+格納容器スプレイ注入失敗】



炉心注入よりC/Vスプレイ注水を優先する理由

- 炉心損傷時は、格納容器破損防止対策の確実な実施が必要
- C/Vスプレイ注水することにより、原子炉下部キャビティに水張りをを行うとともに、原子炉格納容器の圧力上昇を抑えることができる。
- 炉心注入することにより、低温側配管に注入された注入水は炉心で崩壊熱を除去した後、蒸気となり高温側配管の破断口より放出されるため、原子炉格納容器の気層部へとどまり原子炉下部キャビティの水張りに寄与しにくいと考えられる。

以上のことより、大破断LOCAが発生しECCSが注入できない場合は、常設電動注入ポンプによる炉心注入は行わず、常設電動注入ポンプを使用したC/Vスプレイ注水により原子炉下部キャビティへの水張りをを行い、確実に原子炉格納容器の健全性を確保する手段を選定している。

← C/Vスプレイ注入

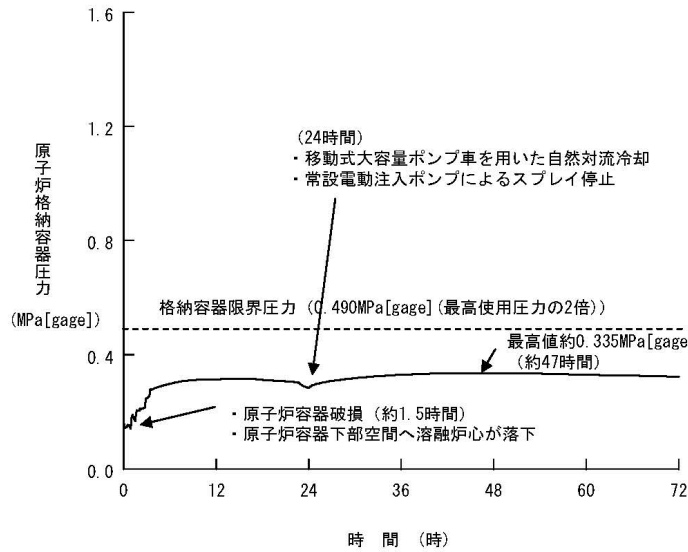
← 炉心注入

第10回新規規制基準に係わる適合性審査資料2-2より

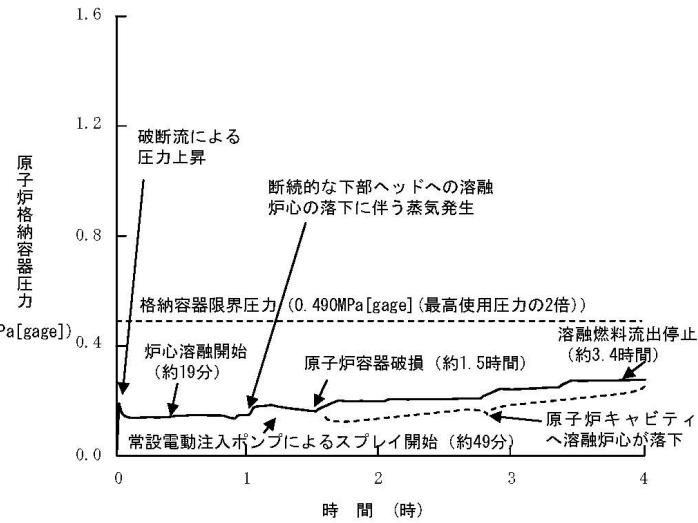


九電がコアキャッチャーと同等という移動式大容量ポンプ車
九州電力ホームページより

20. (参考) 炉外溶融燃料-冷却材相互作用の評価について (4/4)



原子炉格納容器圧力の推移 (MAAP※)



原子炉格納容器圧力の推移 (MAAP※)

※: EPRIによって開発されたコード

第10回新規規制基準に係わる適合性審査資料2-2より

3 重大事故の発生に備え新設した主な対策

3-7 重大事故時等の対策の有効性

新たな設備や対策により、放射性物質の放出量は新規制基準の制限値を大幅に下回ることが原子力規制委員会によって確認されました

- 新たに設置した設備や対策により、最も厳しい重大事故（炉心溶融が早く、格納容器内の圧力が高く推移するケース）※1が発生した場合でも格納容器は破損せず、放射性物質（セシウム137）の放出量は、7日間で1基あたり5.6テラベクレル（TBq）※2になることを評価し、原子力規制委員会によって確認されました
- この放出量は、新規制基準の制限値100テラベクレルの約18分の1の水準です

※1 全ての交流電源がなくなるとともに、原子炉の冷却水が配管の破断により大量に漏れ出る事故事象

※2 1テラベクレル＝1兆ベクレル、ベクレルの解説についてはP23参照

〔放射性物質の放出量の低減〕

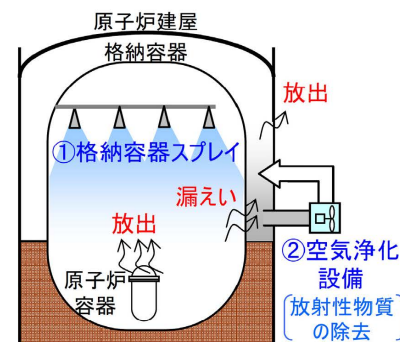
燃料の損傷、原子炉容器の破損により、格納容器内に放射性物質が放出

対策① 格納容器スプレイ等による格納容器内の空気中の放射性物質の低減

格納容器は破損しないが、格納容器外に一部の放射性物質が漏えい

対策② 格納容器から漏れ出た放射性物質を空気浄化設備で低減

一部の放射性物質が外部に放出（7日間で5.6テラベクレル／1基）



放射性物質の放出量の比較

新規制基準の制限値（1基あたり）

約100TBq

川内1、2号機の評価値（1基あたり）

5.6TBq

約18分の1

〔参考〕福島第一原子力発電所事故（全体）

約10,000TBq※3

※3 東京電力による評価

九州電力データブック2014別冊 19

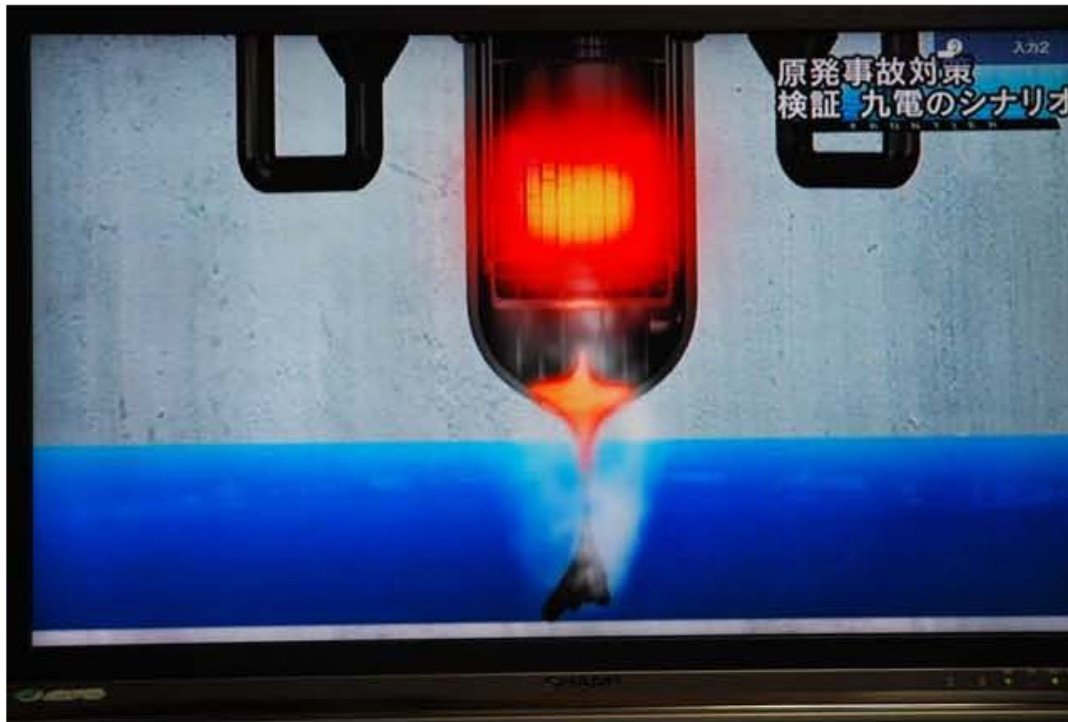
NHKが九州電力の過酷事故対策の問題を映像化



資料6 NHK「特報フロンティア」資料

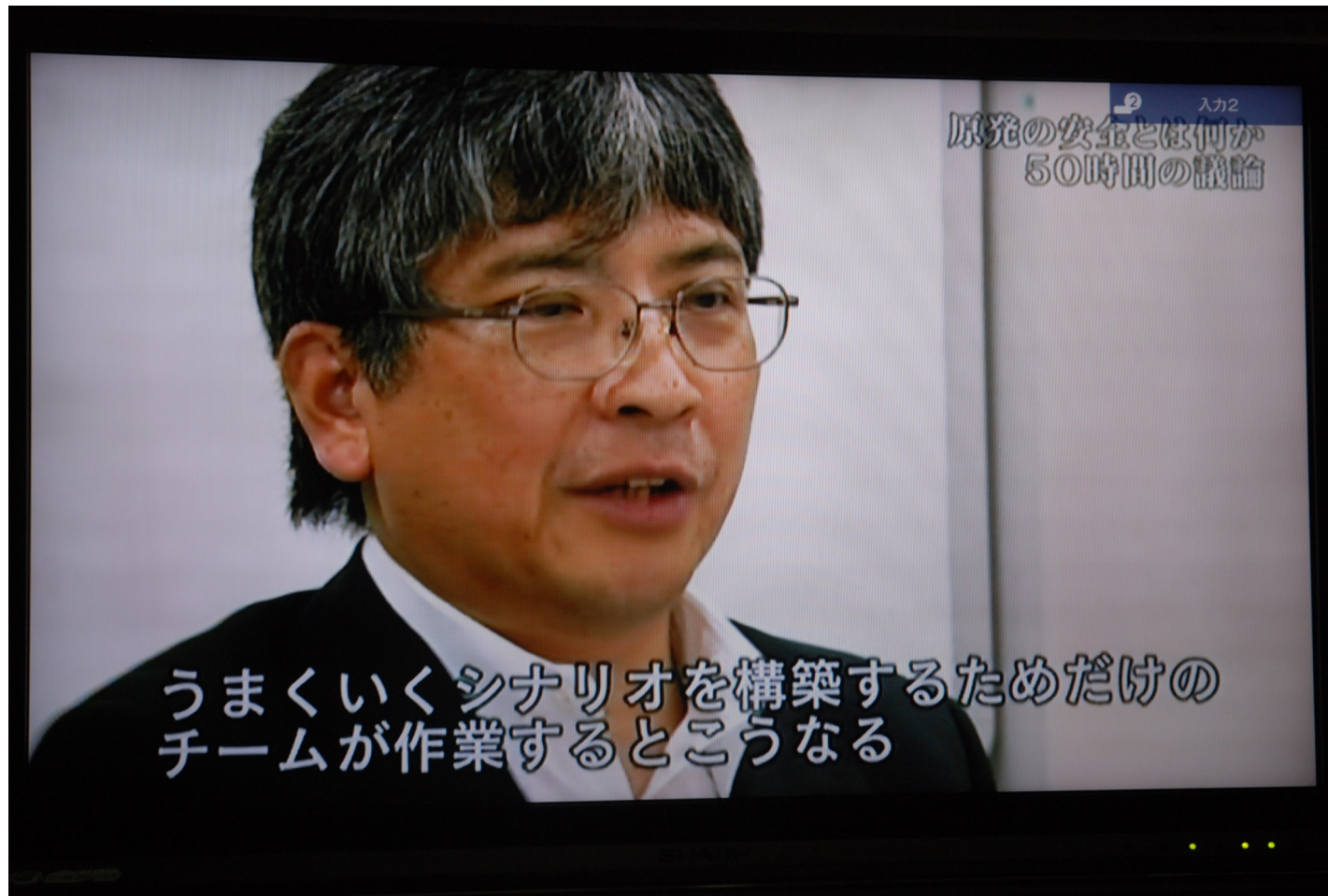
九電：この配管が地震で破断すると、冷却水噴出防止の手段が何も無いので

NHK福岡放送局制作 2013年9月20日放映



九電：緊急に原子炉格納容器に大量の水を溜めて、溶融核燃料を冷却します。

NHK福岡放送局制作 2013年9月20日放映



NHK福岡放送局制作 2013年10月8日放映



佐藤暁氏：水中でのコアー
コンクリート反応

NHK福岡放送局制作 2013年10月8日放映



佐藤暁氏：格納容器内の水
蒸気爆発

佐藤暁氏は溶融炉心は水で
は冷却できずに、MCCIが進
行し、しかも水蒸気爆発が起
きる場合があるとコメント

NHK福岡放送局制作 2013年10月8日放映



NHK福岡放送局制作 2013年10月8日放映



NHK福岡放送局制作 2013年10月8日放映

審査書案は水蒸気爆発による爆轟破壊を審査していない

九州電力は、1年間『本格納容器破損モードの特徴およびその対策：原子炉圧力容器外のFCI(溶融炉心と冷却水の相互作用)には、**衝撃を伴う水蒸気爆発(爆轟)**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(以下**圧カスパイク**という)が有るが、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のみ考慮する。』と説明し、初めから一貫して、**衝撃を伴う水蒸気爆発(爆轟破壊)**の起きる可能性は低いので、検討しないという姿勢を貫いている。

爆轟とは、圧力波が超音速で伝播する爆発で、著しい破壊を引き起こす。

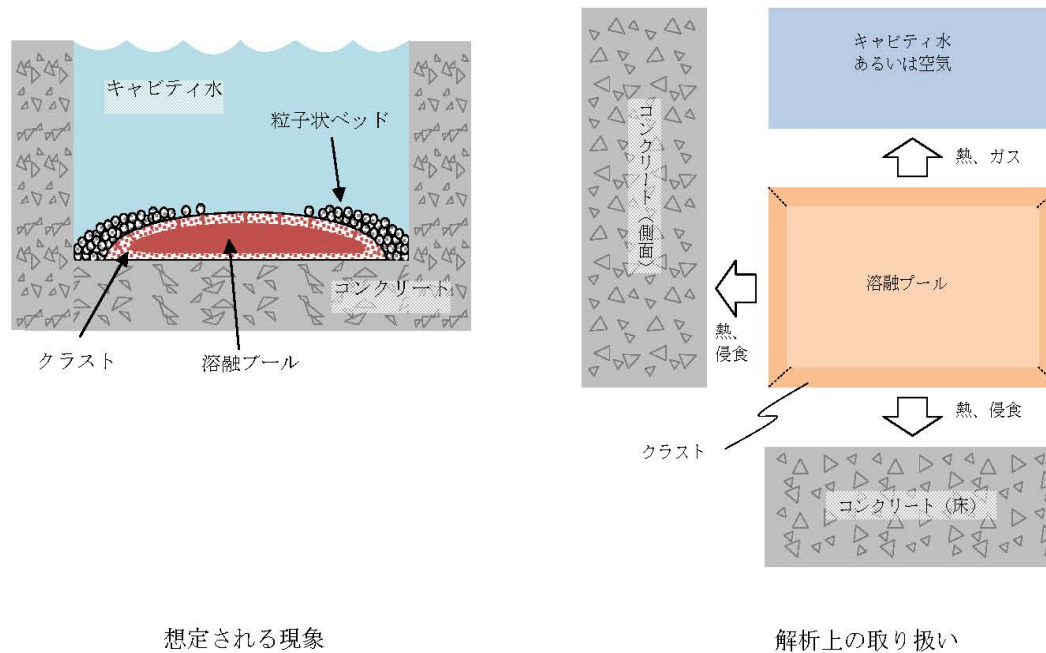


図 4-1 炉心デブリ伝熱の想定される現象と解析上の取り扱いとの比較概念図

出典 第58回新規規制基準に係わる適合性審査資料2-2-7より

衝撃を伴う水蒸気爆発

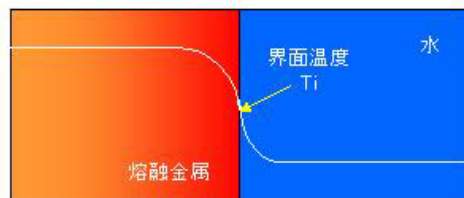
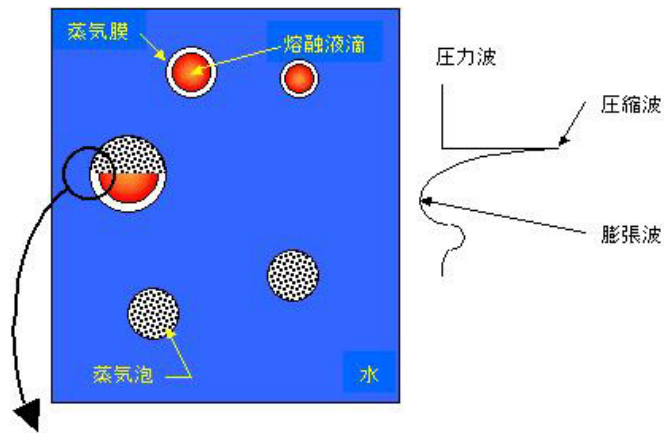


図4 自発核生成モデルの概念図

出典 筑波大学水蒸気無爆発の研究より

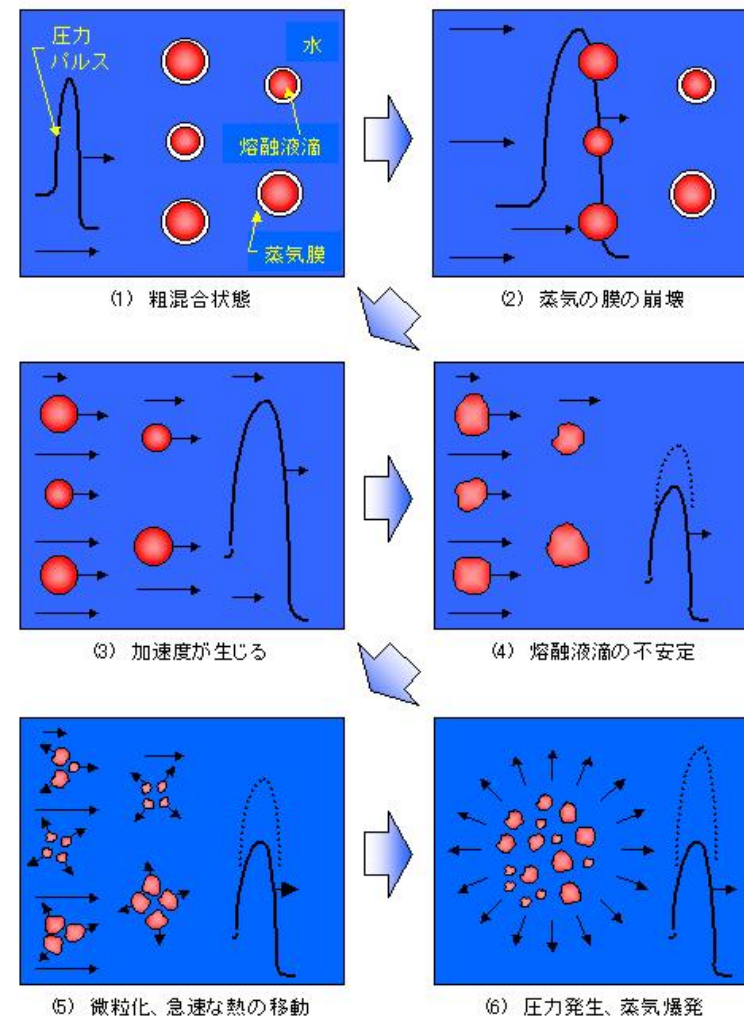
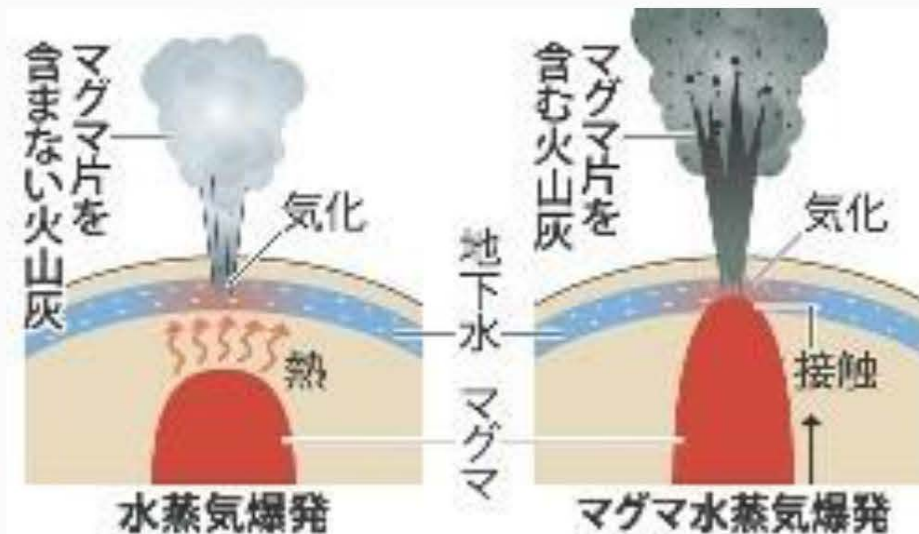


図5 熱的デトネーションモデルの概念図

御嶽山噴火:水蒸気爆発か 噴出物を分析へ

毎日新聞 2014年09月27日 21時07分 (最終更新 09月28日 00時12分)

御嶽山の噴火が起こり、原子力規制委員会は二つの水蒸気爆発を説明



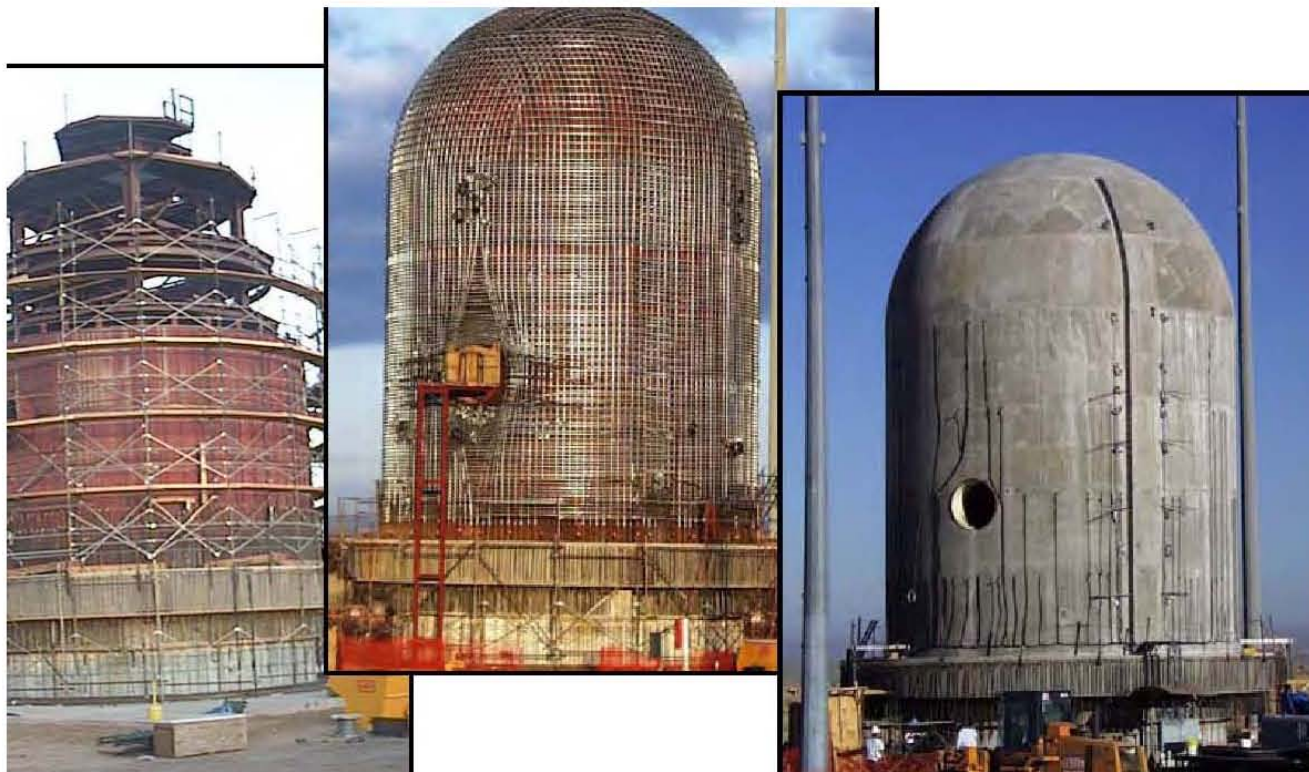
水蒸気爆発とマグマ水蒸気爆発

拡大写真

火山の噴火は主に3種類に分けられる。水蒸気爆発、マグマ水蒸気爆発のほか、マグマ自体が噴出するマグマ噴火だ。

資料7 サンディア研究所の加圧水型1/4モデルの破壊試験

圧カスパイクのモデル試験



圧カスパイクのモデル試験



(b) 270° Azimuth

Unit 3

福島第一原発の過酷事故の場合を
見ると

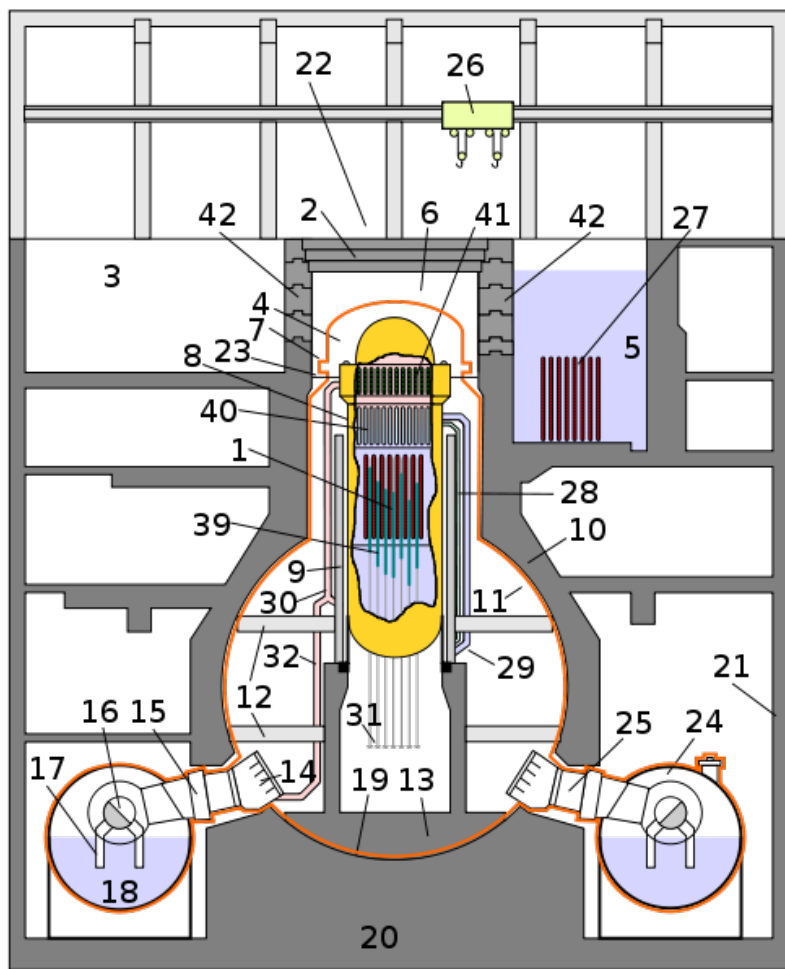
福島第一原発3号炉の爆発
黄色の閃光が見えた

国会事故調はMCCIが原因のCO爆発と
推定した。

March 14, 2011



福島第一原発3号炉の爆発
原子炉建屋は爆轟破壊した
が、放射性物質の飛散量は
格納容器が敗れた2号炉より
も少なかった。



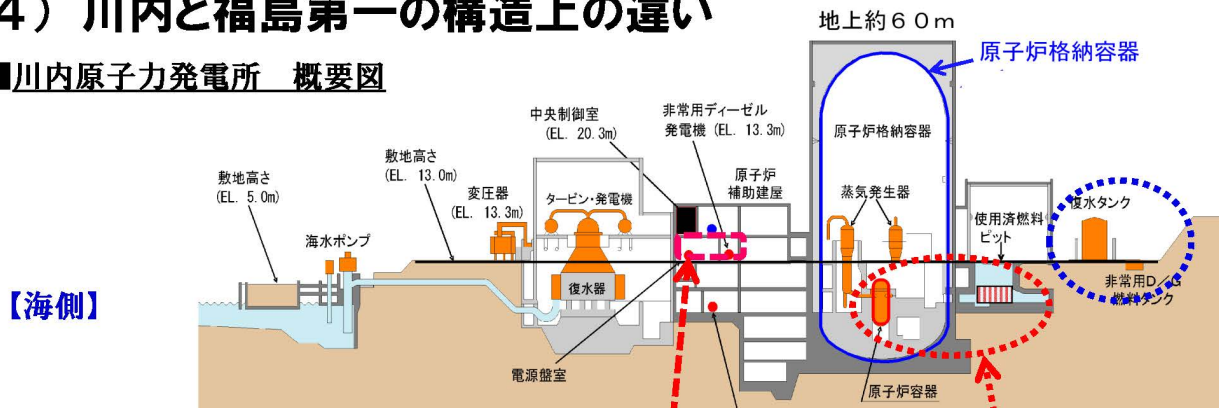
1号炉3号炉4号炉は原子炉建屋
上部は爆発喪失したが、格納容
器はほとんど無傷。放射性物質
の飛散量はチェルノブイリよりか
なり少なかった。

福島第一原発1・2・3・4号炉の格納容器と原子炉建屋

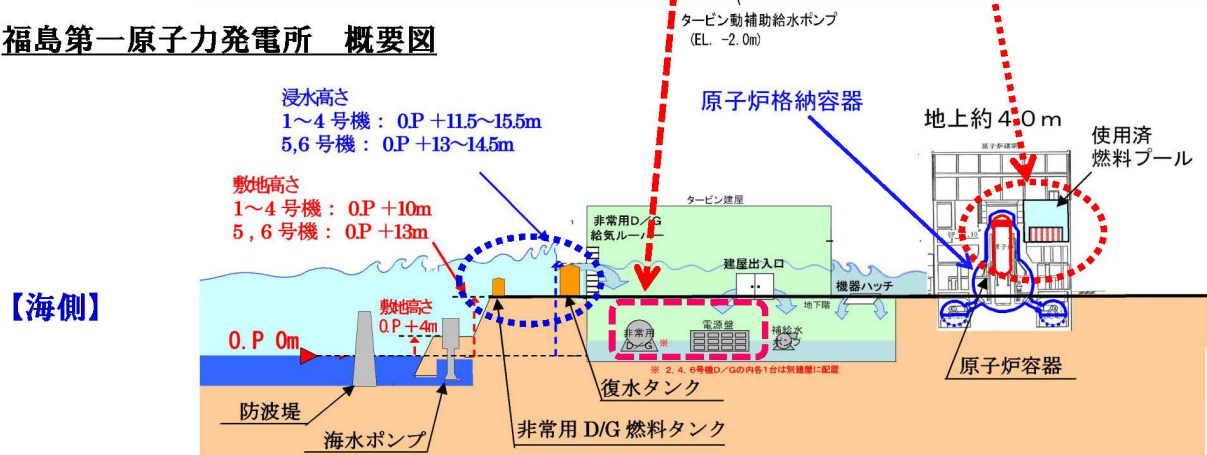
9 原子力発電所関係

(4) 川内と福島第一の構造上の違い

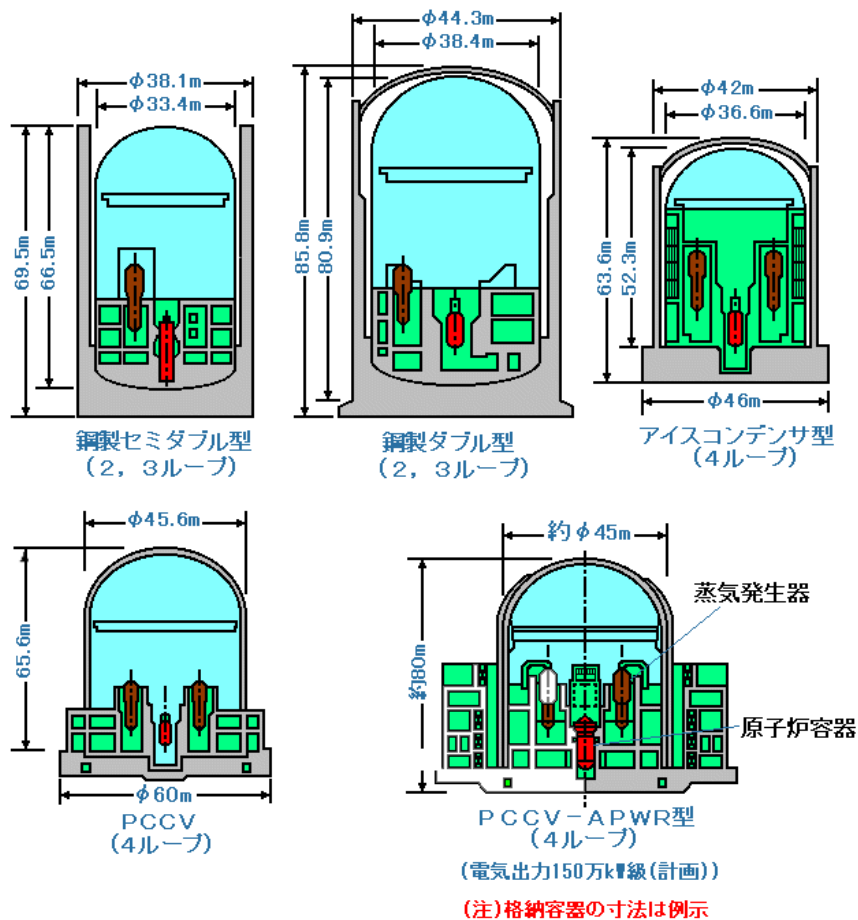
■川内原子力発電所 概要図



■福島第一原子力発電所 概要図



出典 薩摩川内市ホームページより



川内原発1・2号炉は鋼製ダブル型、玄海原発3・4号炉はPCCV型

下記の出典をもとに作成した。

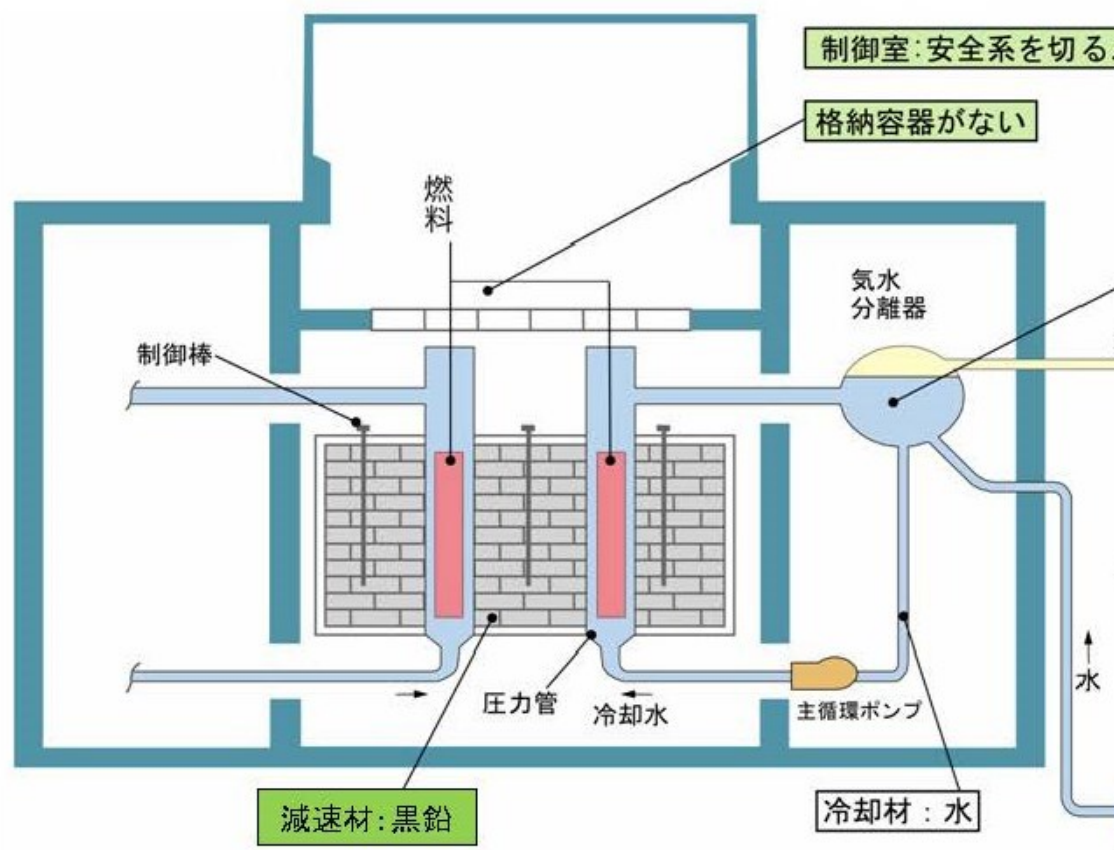
図1 PWR原子炉格納容器の変遷

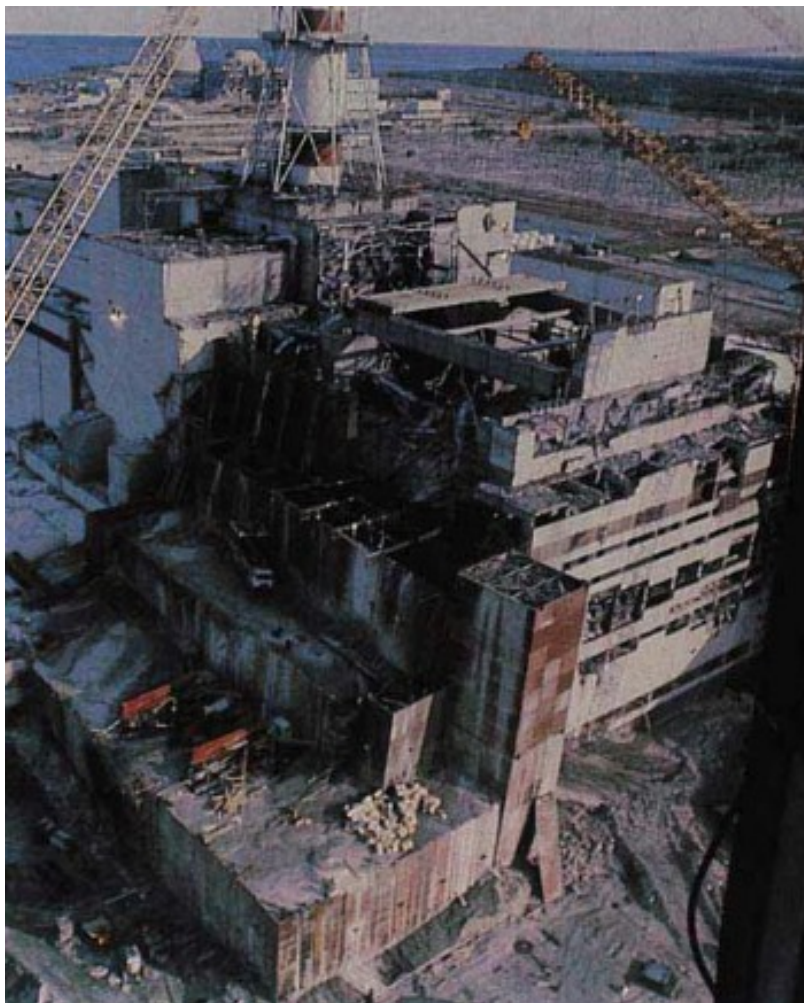
[出典](1)財原子力安全研究協会(編):軽水炉発電所のあらまし(改訂版(平成4年10月)、p.353
(2)通商産業省資源エネルギー庁公益事業部原子力発電課(編):原子力発電便覧
1999年版、電力新報社(1999年10月)、p.405



チェルノブイリ原子力発電所の事故

チェルノブイリ原発は格納容器が無く、爆轟で溶融核燃料が野ざらしになり、520万テラベクレルの放射性物質放出





チェルノブイリ原発の事故直後の写真

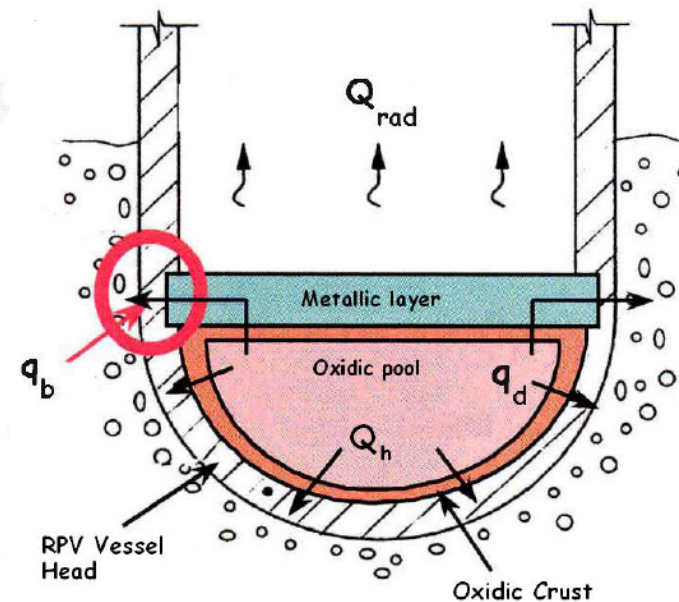
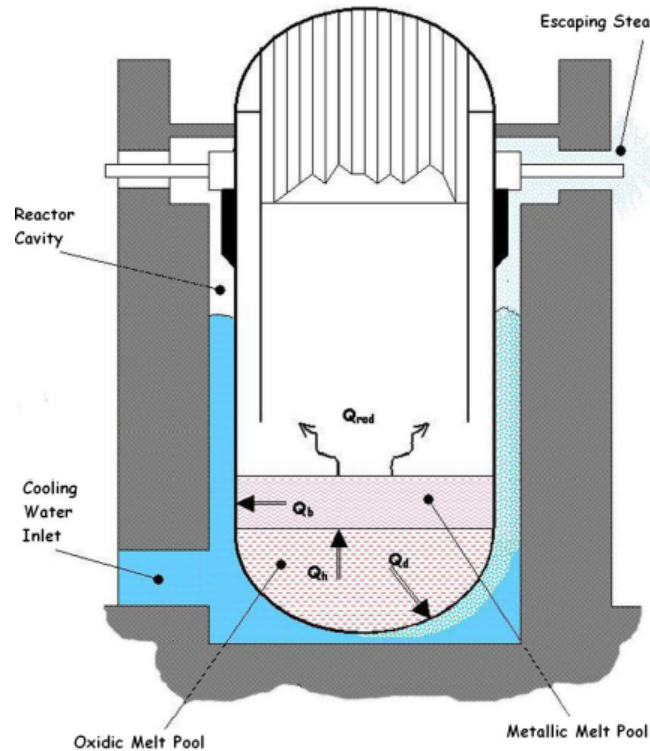
原発事故で破壊された建物の写真です。現在では、この上が放射能の拡散を防ぐ為にコンクリートで覆われています。

出典 ealwave.blog70.fc2.com

ロシアの新型原子炉VVER-1000についてのKhabenskyらの論文
現代の原子力発電所の設計は、格納容器内の核燃料溶融を局部的に食い止める、装置を必要とする。

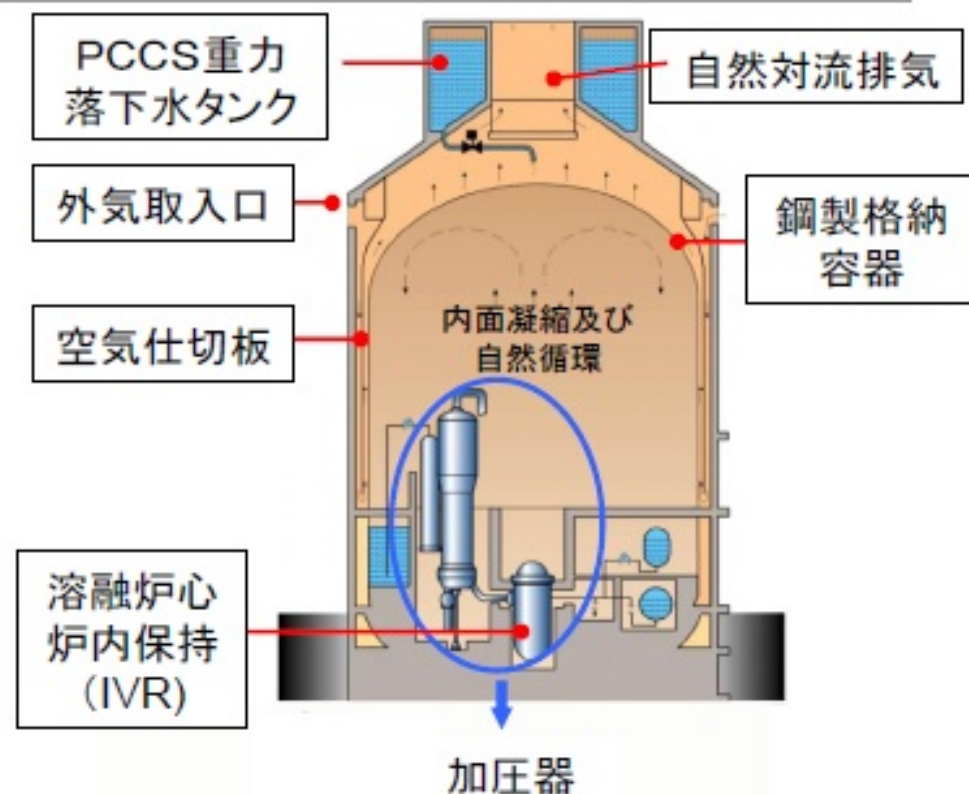
まず外部容器表面の受動冷却と組み合わせた容器内コリウムの保持(IVR)がある。現在では、小規模および普通の容量炉で可能である。大型炉(1000 MW以上)のためのIVRアプリケーションは、適切な安全余裕を達成しない。圧力容器外コリウムの保持(EVR)において他の概念。この最貧コンセプトはBWR型原子炉においてスウェーデンで容認されている。このアプローチは、原子炉下部のキャビティの水で満たされたコンクリートピットで溶融炉心を処理する。溶融炉心のキャッチと固定化のこの概念は、FCI(燃料・冷却剤相互反応)による水蒸気爆轟の危険があり広範囲な人の承認を得られていない。現在のEVRには、2つの概念が完全に開発され適用されている:-VVER-1000で原子炉ロシアの原子力発電所のために開発されたるつぼ型キャッチャーと-欧州EPR原子炉のために開発され溶液拡散キャッチャー。」

欧州連合(EU)で採用されている核燃料溶融時の対応設備は、コアキャッチャーの設置が一番望ましいが、最低の条件として、圧力容器内容融物保持(IVR: In-Vessel Retention)が必要と定めているようです。(筆者注記)



出典 Jiří Duspiva, *Comparison of In-Vessel and Ex-Vessel Retention*,
Nuclear Codes & Standards Workshop, Prague, July 7-8,
2014

AP1000 PCS:格納容器壁面冷却



出典 畑のたより [川内原発パブコメ\(9\) 格納容器再循環ユニットによる除熱は不確実、静的格納容器冷却系\(PCCS\)の設置を求める。\[核のガバナンス・川内原発\]](#)

アメリカのウエスチングハウス社が開発したAP1000の原子炉で圧力容器内コリウムの保持(IVR)を採用している。アメリカのNCRの認可を受けており、中国では建設中である。鋼鉄製の原子炉圧力容器を外部冷却するだけでは、容器の破れを防げない可能性はあるが、貯水量が少ないので水蒸気爆轟による格納容器破裂は免れる。(筆者注釈)

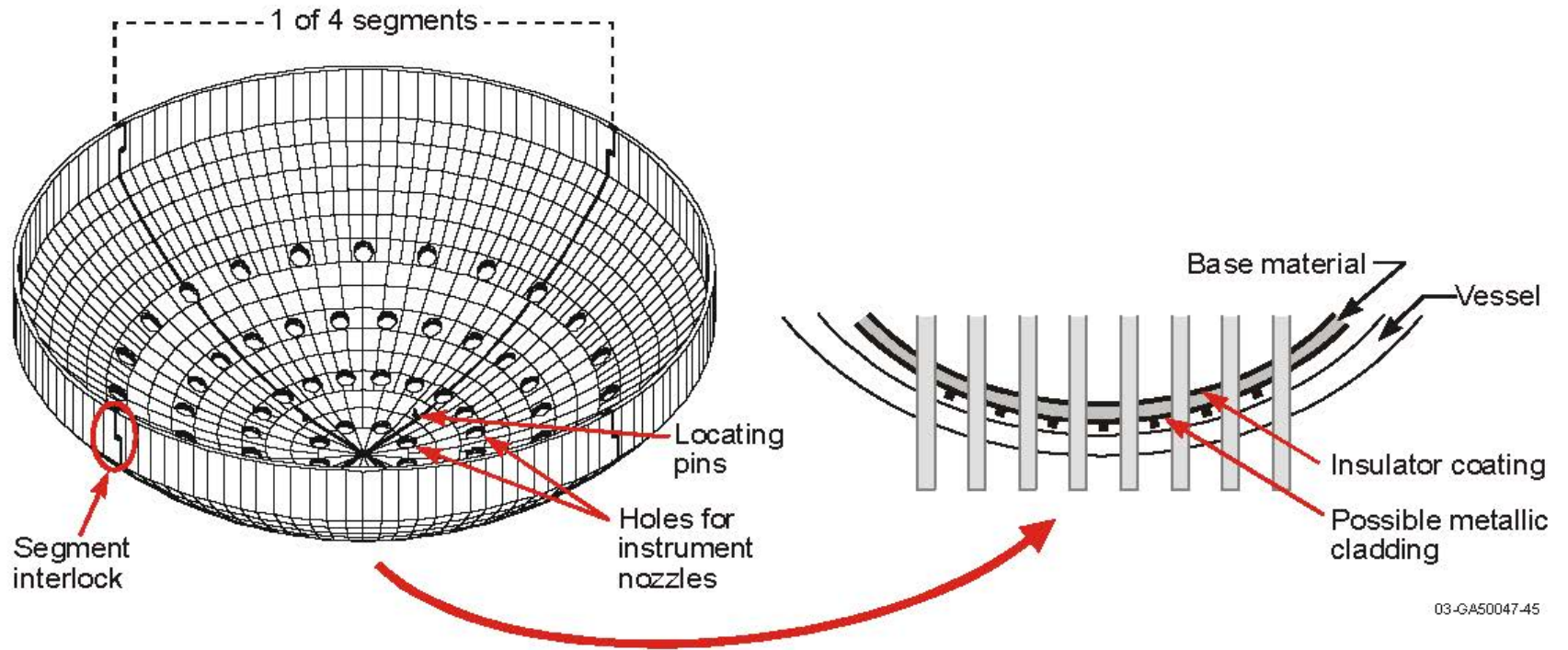
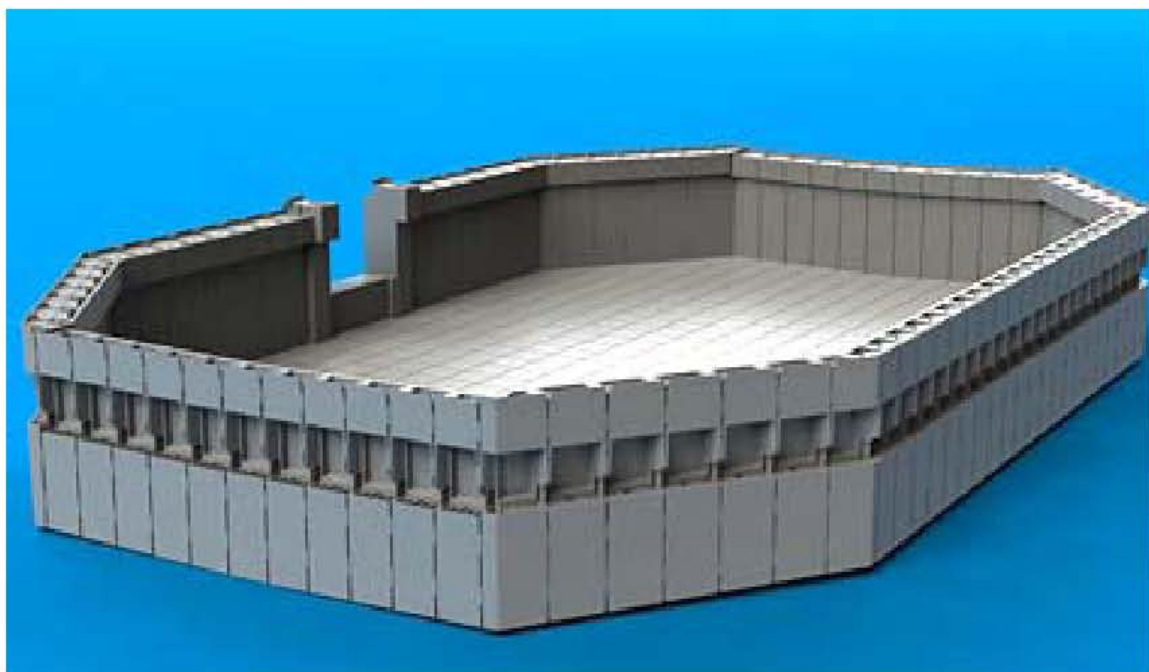


Figure 3-2. Conceptual design of proposed APR1400 IVCC design.

出典 In-Vessel Retention Strategy for High Power Reactors
<http://www.inl.gov/technicalpublications/documents/3028289.pdf>



フランスのアレバ社が開発した次世代型のEPRのコアキャッチャー



Core Catcher Cooling Structures

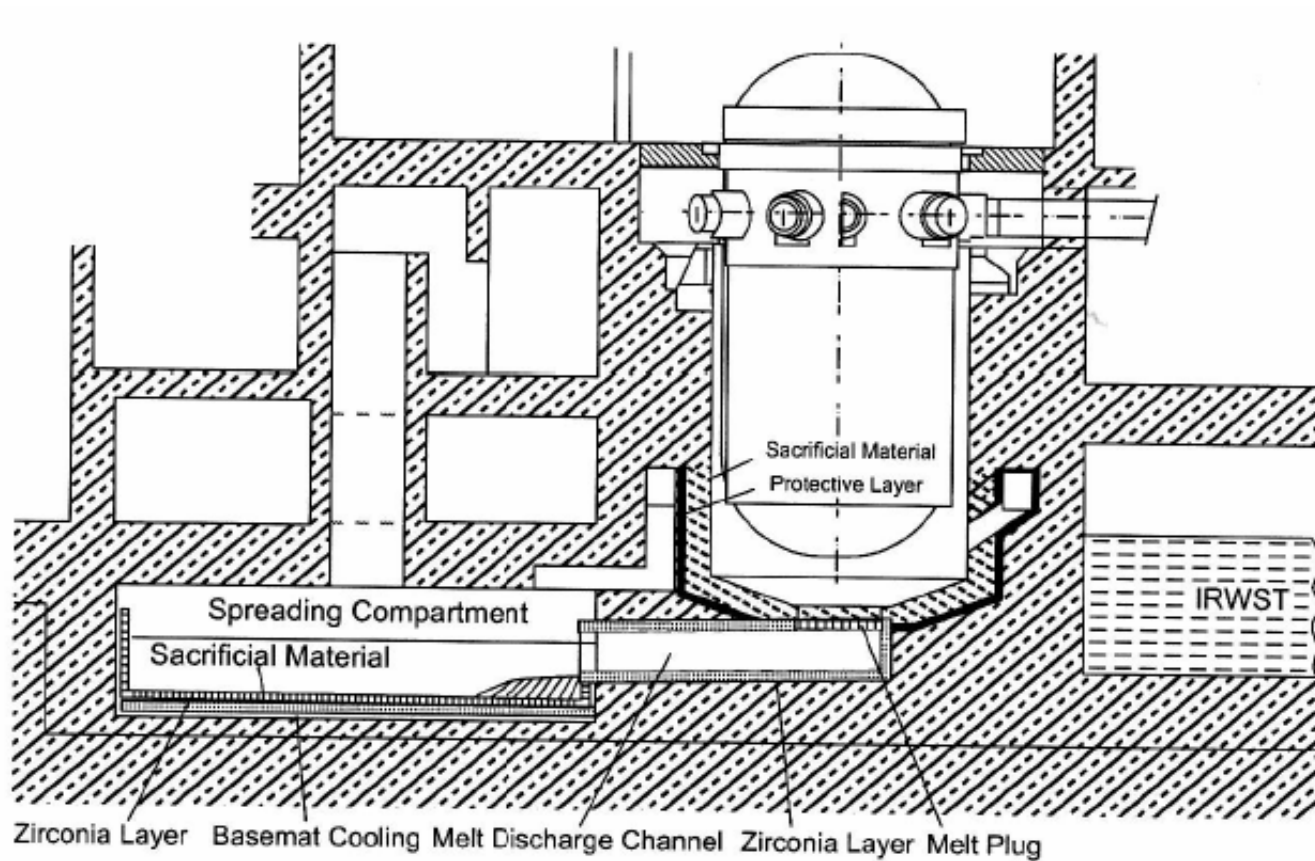
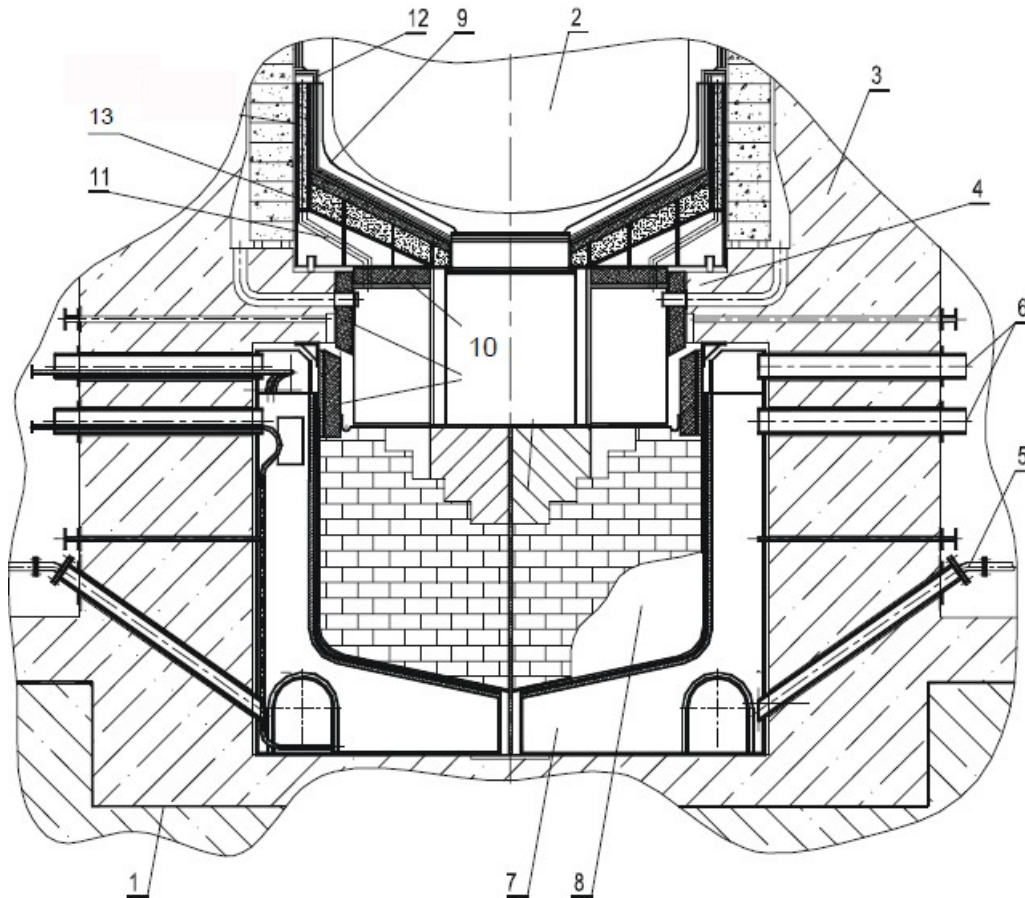


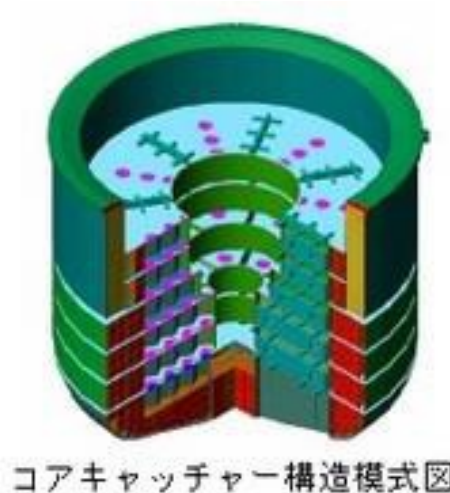
FIGURE 1.31 EPR core catcher.

出典 B. R. Sehgal, *Nuclear Safety in Light Water Reactors: Severe Accident Phenomenology*, Academic Press, 2012.



ロシアのVVER-1000のコア
キャッチャー。るつぼ型コア
キャッチャーで2m厚さほどの
耐火煉瓦壁の外の鋼鉄製容
器壁を自然落下の水冷却。無
電源でも稼働。耐火煉瓦張が
特徴(筆者注記)

出典 Saint Petersburg Institute
"ATOMENERGOPROEKTATOMENERGOPROEK
T" (JSC SPAEP) Main Features of Safety
Concept for Modern Design of NPP with
High Power VVER Reactors (AES-2006
Design for Leningrad NPP-2)



出典 畑のたより [ロシアのコアキャッチャー、MLD:Melt Localizing Device 溶融局所化装置 \[AM-メルトスルー、CCI\]](#)

ロシアのVVER-1200の新型コアキャッチャー。るつぼ型コアキャッチャーで2m厚さほどの耐火コンクリート壁の外の鋼鉄製容器壁を自然落下の水冷却。無電源でも稼働。韓国製の改良型IVRに比べても極めて強固な構造。耐火コンクリートが特徴。耐火コンクリートの融点は2700℃と推定される。(筆者注記)

まとめ

アメリカで「チャイナシンドローム」という映画が製作されたが、実際の原子炉では核燃料のメルトダウンは起きないと思われていた。しかし、アメリカのスリーマイル島原発の過酷事故、ロシアのチェルノブイリ原発の過酷事故が起こり、メルトダウン、メルトスルーは現実には起きる事が分かった。海外ではメルトスルーによりMCCIが起こり、ガス爆轟による溶融核燃料の野ざらしと、チャイナシンドロームによる地下水汚染が起きるので、その対策を行ってきた。

日本では、MCCI対策を行わなかったが、福島事故でMCCIが起きた。しかし、水蒸気爆轟だけは起こらなかった。そして、世界中で原発の過酷事故で一番おそれられたのは、火山のカルデラ爆発と同じ、格納容器の水蒸気爆轟破壊であった。そのために、水蒸気爆轟の起きないMCCI対策が改良されてきて、ロシアのVVER-1200のような強固なコアキャッチャーまでが建設されてきた。

しかし、九州電力を初め関西電力、北海道電力、四国電力は、世界の原発の安全対策の方向とは全く逆向きに、移動式大容量ポンプ車で格納容器に水を貯水して、MCCI対策を行えば、コアキャッチャーと同じと結論し、水蒸気爆轟により、チェルノブイリ状態になるような危険な対策を強行し、初めはそれを危惧していた原子力規制委員会が黙認をしてしまったことは、あまりにも危険で、どうしても許されることではない。

また、世界中からは、最悪なMCCI対策と言われながら、「原子炉格納容器から環境に放出されるCs137の放出量は、7日間で約5.6TBqであり、100TBqを下回っている。」という九州電力の主張を認めてしまった原子力規制委員会は、間違っているかウソをついていると結論される。