

## 特集 高浜原発1・2号機

## 高浜1・2号機の新規制基準適合性審査の問題点

たまたに  
滝谷紘一

(原子力市民委員会規制部会、元原子力安全委員会事務局技術参与)

原子力規制委員会はこれまでに川内1・2号機、高浜3・4号機、伊方3号機に続いて本年4月に高浜1・2号機に対して新規制基準適合性審査を終え設置変更を許可した。筆者は各審査について、新規制基準それ自体も含めて科学的に厳正な審査になっているかの検証に取り組んでいる<sup>1)~5)</sup>。本稿では高浜1・2号機の審査の問題点を、耐震安全性と重大事故時の水素爆発の防止対策に焦点をあてて述べる。上述の7原発は、いずれも加圧水型炉(PWR)の3ループプラント<sup>a)</sup>で電気出力が82~89万kWの範囲にあり、施設構成と設備仕様が類似し、問題点も共通するところが多い。なお、高浜1・2号機は運転開始以来40年を経過し、老朽化の問題点については上澤千尋さんの別稿をお読みいただきたい。

## 耐震安全性

## (1) 繰り返し地震は想定外の耐震基準

熊本地震では震度7の激震が2回(4月14日と16日)発生し、1回目の地震には耐えたが2回目の地震で倒壊した建物が数多くあった。気象庁はこの激震の繰り返しは「過去の経験則にはない」と述べ、国土交通省はこの新知見にもとづき一般建物の耐震基準の見直しを議論する有識者委員会を設置した。

原子力市民委員会は熊本地震に関する声明書を出し、その中で原発の耐震安全性の審査基準(耐震基準)に重大な欠陥があることを指摘した<sup>6)</sup>。現行の耐震基準では激震の複数回の発生(繰り返し地震)は想定せず、1回の基準地震動に対して安全上重要な設備・機器と建物・構築物の安全機能が損なわれるおそれがないことのみ求めている。機器・配管系については「塑性ひずみ(筆者注:外力を取り去っても残留しているひずみ)が生じる場合であっても、そ

の量が破断限界に十分な余裕を有しておればよい」と定めている。塑性ひずみがある状態で再度強い地震力が加わった場合に、破断限界に達しない保証は何らされていないのである。建物・構築物に関しても繰り返し地震に対して終局耐力(損壊限界)に達しない保証はされていない。従って、現行の耐震基準のもとでは、繰り返し地震が生じると、施設の様々な安全機能が同時多発で失われて甚大な放射線災害を引き起こすことを防ぐことができない。現実に繰り返し地震が生じた以上、規制委員会は早急に繰り返し地震を想定した耐震基準の改正と、それにもとづくバックフィット審査を行うべきであり、それが完了するまでは全原発は運転すべきではない。

## (2) 過小設定の基準地震動

高浜1・2号機では審査が先行した同じ敷地内の3・4号機と同じく、①震源を特定して策定する地震動を最大加速度700ガル(解放基盤<sup>b)</sup>、水平)、②震源を特定せず策定する地震動を最大加速度620ガル(同前)としている。いずれも3・4号機の審査当時から、地震識者により過小設定であると指摘されている。石橋克彦神戸大学名誉教授は①の地震動も本質的に不可知であることを考えて、全国の原発において、少なくとも原発での既往最大の1700ガル(柏崎刈羽原発1号機の地下岩盤、2007年新潟県中越沖地震)とすべきことを求めている<sup>7)</sup>。長沢啓行大阪府立大学名誉教授は、①について断層モデルに過小評価の特性があること、②について原子力安全基盤機構の解析(2005年)にもとづく1340ガルを採用すべきことを指摘している<sup>8)</sup>。島崎邦彦東京大学名誉教授はこの6月16日に、①で使われている計算式が過小評価を与える可能性があり、①についての再検討を田中俊一規制委員長に強く求めた。

## 文献

- 1) 井野博満、滝谷紘一：科学、2014年3月号
- 2) 滝谷紘一：科学、2015年1月号
- 3) 滝谷紘一：科学、2015年3月号
- 4) 滝谷紘一：科学、2016年3月号
- 5) 滝谷紘一：科学、2016年6月号

- 6) 原子力市民委員会：熊本地震に関する声明、2016年5月17日、[www.ccnejapan.com/](http://www.ccnejapan.com/)
- 7) 石橋克彦：科学、2014年8月号
- 8) 長沢啓行：若狭ネット・ブログ2015年2月15日、<http://wakasa-net.sakura.ne.jp/www/>

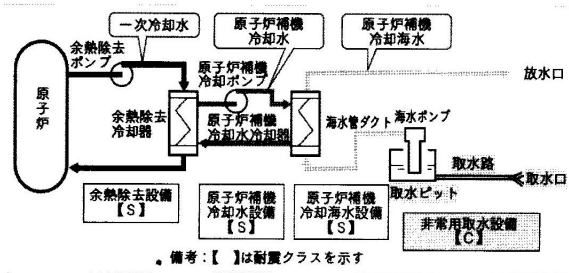


図1 原子炉崩壊熱除去に必要な設備構成

(3) 非常用取水設備の耐震Cクラスの過誤

非常用取水設備とは、図1に示すように、原子炉停止後に余熱除去設備と原子炉補機冷却水設備によって運ばれてきた崩壊熱を海に放出するために必要な海水を取り入れる設備である。この設備が機能しなければ原子炉停止後の炉心の長期的冷却が不能になり、炉心の損傷、熔融に至る。従って安全上重要な設計基準対処設備と位置づけられている。その耐震クラスは余熱除去設備、原子炉補機冷却設備と同じSであって当然なところを、電力会社は最下位のCとしている。これは明らかに耐震基本設計の過誤であり、規制委員会がそれを見逃していることは審査の瑕疵である。(詳細は文献4に記述)

過酷事故における  
水素爆発と水蒸気爆発の防止

PWRでは事故が進展して炉心熔融が生じた後、原子炉圧力容器が破損し、熔融炉心が格納容器内に

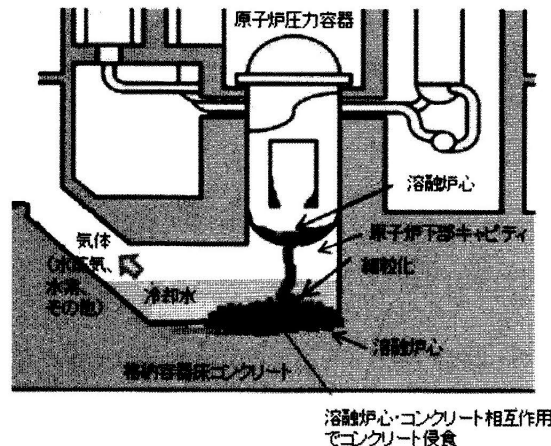


図2 原子炉下部キャビティに流出する熔融炉心の様相

流出する事態になる場合には、図2に示すように、原子炉下部キャビティに注水、水張りした中で熔融炉心を受け止め冷却することで、熔融炉心・コンクリート相互作用(MCCI)の進行とそれに伴う水素の発生を抑制して水素爆発を防ぐという格納容器破損防止対策が採用されている。この対策には以下の大きな問題がある。

(1) 妥当性を欠く水素爆発防止対策の有効性評価

重大事故等対策の有効性評価では、注水開始は運転員による炉心熔融に至ったとの判断と空冷式非常用発電装置、注水用ポンプ等の準備に要する時間を30分とし、その時間遅れの不確かさの影響はわずか10分の遅れしか評価せず、また判断ミスや誤操作、機器の故障などはないものとしている。過酷事故の状況下において、このような短時間での運転員対応や故障のない機器の前提が現実離れしていることは、福島原発事故の実状から明白である。また、MCCIの解析には解析コードMAAPが用いられているが、水中条件での解析コード検証がされておらず、しかも国際的な専門家間で過小評価する特性があることが知られている。このような評価条件と評価手法による有効性評価は、「すべてがこのとおりになればこうなるというシナリオ(筋書き)」にすぎず、科学的妥当性を欠いている。規制委員会が別の解析コードを用いたクロスチェックを行わないことも審査の杜撰な点である。(詳細は文献1,2に記述)

(2) 恣意が入った水素発生量の不確かさ評価

MAAPによる解析は精度を欠くこともあって、川内1・2号機の有効性評価では、不確かさを考慮した水素発生量を求めるに際して、解析コードに依拠せずに炉心内ジルコニウムの100%が水と反応することを仮定し、その場合にも格納容器内の水素濃度が爆轟防止判断基準<sup>4)</sup>(13%)以下になることを確認している。しかし、高浜1・2号機を含めて他の原発では、MAAP解析に依拠してジルコニウムの反応量は81~82%にとどまるとし、同100%での評価は行っていない。この理由は格納容器の体積が川内1・2号機より小さいために、同100%にすると水素濃度が

判断基準を満たせないためであると推認され、評価の仕方に恣意が入っている。これを容認した審査には川内1・2号機審査との一貫性がなく、規制委員会にも恣意が働いていると言わざるを得ない。(詳細は文献3に記述)

### (3) 労働安全衛生規則に反する注水・水張り方式とイグナイタの設置

原子炉下部キャビティを水張りして溶融炉心を受け止める方式は、労働者の安全と健康を確保する労働安全衛生法の詳細規定である労働安全衛生規則249条「水蒸気爆発を生じさせないために、溶融高熱物を取り扱うピットの内部には水を侵入させないこと」に反している。また、格納容器内には電気ヒータを使って水素を燃焼させるイグナイタが設置されるが、これは労働安全衛生規則280条「可燃性ガスが爆発の危険のある濃度に達するおそれのある箇所では、防爆構造電気機械器具でなければ使用して

はならない」の規定に違反する。イグナイタは防爆構造とは対極にある誘爆構造である。規制委員会が労働安全衛生規則違反を見逃していることは審査の瑕疵である。(詳細は文献5に記述)

#### 解説：

##### a) 3ループプラント

原子炉の冷却設備が3系統あるプラント。なお、国内PWRのループ数は電気出力30～60万kW級は2、80万kW級は3、100万kW級は4とされている。

##### b) 解放基盤表面

基準地震動を策定するために、原子炉建物の設置位置付近において、基盤表面上の表層や構造物が無いものとして仮想的に設定する基盤の表面を指す。

##### c) 原子炉下部キャビティ

原子炉圧力容器の真下にある格納容器内の部屋のこと。

##### d) 爆轟(デトネーション)

爆発の最も厳しい形態であり、気体の急速な熱膨張の速度が音速を超え衝撃波を伴いながら燃焼する現象。

## 高浜1・2号炉：老朽化原発の運転期間延長に関する問題

### 運転延長は例外的？

6月20日、原子力規制委員会は、関西電力の高浜原発1・2号炉の運転期間延長の申請に対して認可した。

運転開始から、1号炉は41年、2号炉は40年経過した。本来ならば、40年を過ぎた時点で自動的に廃炉になるところだが、いくつかの原発については、運転期間延長を含む法令の施行から3年(期限が2016年7月7日)以内に認可を受ければ、運転がみとめられる経過措置がとられた。その対象となった原発は、運転開始年月日が古い順に、敦賀1号炉、美浜1号炉、美浜2号炉、島根1号炉、高浜1号炉、玄海1号炉、高浜2号炉の7基であるが、高浜以外の5基はすべて廃炉になっている。

延長認可を受けた期限は、1号炉が2034年11月13

日、2号炉が2035年11月13日で、それぞれの運転開始から60年間の経過する日にあたる。

関西電力は美浜3号炉の運転延長も申請しており、認可の期限は今年の11月30日である。

### 老朽化する高浜1・2号炉

高浜1号炉も2号炉も、これまでにさまざまな老朽化による問題を引き起こしてきた。運転歴から見ても、とても「優良な」原発といえるものではない。一例として、600系ニッケル基合金の一次冷却材側の応力腐食割れ(PWSCCと呼ぶこともある)について簡単に紹介する。

加圧水型炉のアキレス腱といわれている蒸気発生器の細管(伝熱管)では、応力腐食割れをはじめとする種々の損傷が運転開始まもなくからつづき、1号炉は1996年、2号炉は1994年に蒸気発生器をまるご

と交換する工事がおこなわれた。

原子炉容器上ぶたについては、1991年ごろからフランスや米国などの原発で制御棒案内管の上ぶたへの溶接部付近を中心にみつかったひび割れのひろがり深刻であった。このため、高浜原発でも渦電流による探傷検査がおこなわれた。ひび割れはみつかっていなかったものの、ひび割れが発生する可能性があることから、上ぶたを案内管が一体となったものに設計変更したうえで交換工事をおこなった(1号炉は1996年、2号炉は1997年に実施)。

これらの大工事には、1基あたり1つの工事につき100億円以上のお金が投じられたと言われている。この交換工事をおこなったことで、高浜1・2号炉では、蒸気発生器細管や原子炉容器上ぶたの貫通管に直接かわるトラブルの報告はなくなった。

しかし、2007年12月に高浜2号炉で、蒸気発生器の一次冷却材入口ノズルの溶接部内表面にひび割れが見つかった。ひび割れは、A・B・C系の3ループのそれぞれの蒸気発生器のうちB・C系の2基で見つかっており、最大のもは長さ14ミリ、深さ7ミリであった。対策として、ノズル内表面をひび割れがなくなるまで削り取り、溶接によって、表面を応力腐食割れに比較的強いとされている690系ニッケル基合金で覆う工事がおこなわれた。

一次冷却材側の応力腐食割れを起こしやすい600系ニッケル基合金が使われている部位は、まだまだ残っている。蒸気発生器では管板の内張り、原子炉容器のまわりでは一次冷却材入口ノズルおよび出口ノズルの溶接部、炉内計装筒(原子炉の底部から貫通している)、炉内支持構造物などがある。今回の運転期間延長にかかわる劣化評価においては、応力緩和などの対策工事をしているから「高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない」と関西電力が評価している部位がそのまま原子力規制委員会(原子力規制庁)の評価となっており、十分な検討がされたとはいえない(1号炉の炉内計装筒では2003年2月にひび割れが起きていたため、後述のように点検はおこなってはいるが、1回の特別点検をしたから

とあって、それで十分とはいえないだろう)。

## 劣化の現状把握に大いに疑問

関西電力は2015年4月30日に高浜1・2号炉の運転期間認可申請をした際に、「特別点検結果報告書」、「劣化状況評価書」、「保守管理に関する方針書」を添付書類として作成している。

「特別点検結果報告書」には高浜1・2号炉の現在の劣化状況を把握するためにおこなわれた点検結果が記載されている。「実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド」に要求されておこなわれた点検対象は原子炉容器、原子炉格納容器、コンクリート構造物である。点検の内容は、たとえば原子炉容器に対しては、炉心領域全体の母材および溶接部の超音波探傷試験、一次冷却材ノズルのコーナ一部分の浸透探傷検査および渦電流探傷検査、炉内計装筒全数の目視試験および渦電流探傷試験、となっている。また、原子炉格納容器に対しては、原子炉格納容器鋼板(近接できる点検可能範囲の全て)を目視試験によって塗膜状態の確認、となっている。さらにコンクリート構造物に対して実施したのは、安全機能を有するコンクリート構造物などから採取したコアサンプル等による強度、遮へい能力、中性化、塩分浸透およびアルカリ骨材反応の確認となっている。

「劣化状況評価書」は、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」に基づき作成されたいわゆる「高経年化技術評価書(40年目)」がその内容で、申請時の分量で3000ページ以上におよぶ膨大なものだ。保守管理に関する方針書は、「劣化状況評価書」から保安規定に定めるための方針を最終的には4項目として抽出したもの。

しかし、どちらの報告書も公開されている資料は情報の公開度が低い。根拠データを見ようとするとうんざりするほどマスキングが施されて、安全性にかかわる情報であるにもかかわらず秘匿されている。事業者と規制者以外の第三者が安全性を検証しようとすることを拒むものとなっている。

## 原子炉の中性子照射脆化と破壊力学評価について

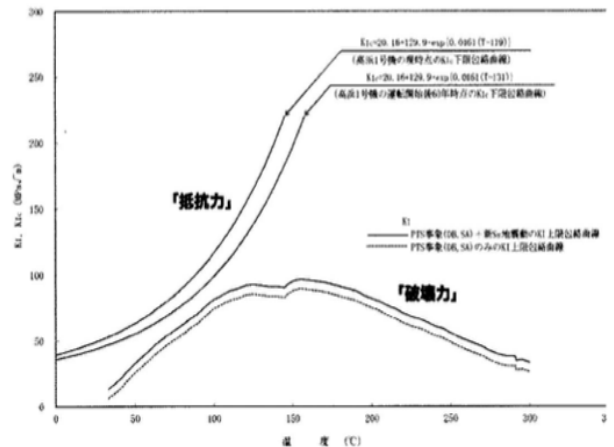
「劣化状況評価書」には、低サイクル疲労、原子炉容器の中性子照射脆化、照射誘起型応力腐食割れ、2相ステンレス鋼の熱時効、電気・計装ケーブルの絶縁低下、コンクリートの強度低下および遮へい能力低下という劣化現象について機器ごとに評価をしたうえで、さらに、劣化現象と地震および津波を組み合わせた、耐震安全性評価、耐津波安全性評価が記載されている。

重大な事故につながり問題となりそうなものとしては、原子炉の上ぶたを閉めるスタッドボルトの低サイクル疲労破壊、原子炉容器の中性子照射脆化(加圧熱衝撃破壊)、バップルフォーマーボルトなどの炉内構造物の中性子照射誘起型応力腐食割れ、電気ペネトレーションや計装系ケーブルの絶縁低下(および耐火性)などがある。また、減肉の進んだ配管の耐震安全性なども重要だ。

原子炉容器の中性子照射脆化については、脆化の度合いを測る指標のひとつである脆性遷移温度の求め方、予測値の決め方、それをもとにした原子炉容器の健全性評価・事故評価、それぞれの段階において、関西電力も採用している日本電気協会の評価方法は過小な評価となっているために大きな疑問がある。この問題についての詳しいことは、井野博満さん、小岩昌宏さんそれぞれによる論文(参考にした文献に掲げた)をご覧ください。

とくに高浜1号炉は母材の脆性遷移温度(シャルピー衝撃試験による吸収エネルギーが41ジュールとなる温度)が、99度と国内の原発でもっとも高い値となっている。過小となっている疑いの強い関西電力による加圧熱衝撃に関する評価結果を紹介する。

グラフは、原子炉容器に深さ10ミリのひび割れがあったときに、高浜1号炉で想定されている地震(Ss)が起きたときに配管破断事故が起き、緊急炉心冷却系による原子炉への注水がおこなわれたとき



高浜1号炉 Ss地震動を考慮した破壊靱性評価(深さ10mmの想定亀裂を用いた評価)  
(関西電力の「高浜発電所1号炉の耐震安全性評価書」に参照)

れに耐える「抵抗力」が老朽化した原子炉に残っているのかをみようとしたものである。このグラフではかろうじて「破壊力」より「抵抗力」が上回っているが地震の大きさ、脆性評価、事故で発生する「破壊力」にはかなり不確かな要素がある。高浜原発で、こういう事故が起これば、原子炉が破壊されて、さらに深刻な事態に陥る、と理解すべきだと考える。

(上澤千尋)

### ■参考にした資料

- 関西電力株式会社より提出された高浜発電所運転期間延長認可申請(1号発電用原子炉施設の運転の期間の延長)を認可  
<http://www.nsr.go.jp/disclosure/law/PWR/00000316.html>
- 関西電力株式会社より提出された高浜発電所運転期間延長認可申請(2号発電用原子炉施設の運転の期間の延長)を認可  
<http://www.nsr.go.jp/disclosure/law/PWR/00000317.html>
- 実用発電用原子炉の運転期間延長等に係る審査  
[http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/yuushikisyu/tekigousei/power\\_plants/untenkikanencho/index.html](http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/yuushikisyu/tekigousei/power_plants/untenkikanencho/index.html)
- 高浜発電所(1・2号炉) 事業者との審査ヒアリング概要・資料  
<http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/yuushikisyu/untenkikanencho/meeting/takahama12.html>
- 井野博満、「経年劣化した高浜1号機は40年で廃炉にすべきだ」、『科学』、2016年5月号
- 小岩昌宏、「原子力規制庁の技術評価は信頼できるか? 圧力容器の照射脆化予測をめぐって」、『金属』、Vol. 86(2016)No.6
- 原発老朽化問題研究会、『老朽化する原発』、2005年、