「県民の意見」に対するサイクル機構の見解

9 耐震安全性

平成14年7月26日

核燃料サイクル開発機構

9章 耐震安全性

いただいた意見：1)「もんじゅ」の耐震安全性

- 地震が多発する日本の原子力発電所の地震対策、とりわけプルトニウムを燃料とし、ナトリウムを冷却材に使う「もんじゅ」発電所の地震に対する備えはどうなっているのか。
- 「もんじゅ」は耐震設計と熱応力設計という相反する条件の妥協の上に設計されており、軽水炉より地震に弱いと思われる。
- 「もんじゅ」は、熱衝撃に耐えられるよう配管の口径を大きく、薄くして引き回しており、原子炉も吊り下げ型である。
- 地震に弱い構造を選択しなければならない理由が「もんじゅ」自身にある。非常に薄い厚みの配管と原子炉容器、伸び縮みを吸収するための曲がり形状、複雑な構造をもった支持具での固定等。現行の耐震設計審査指針はそれらの点が十分に考慮されていない。
- 旧科技庁が耐震安全性確認のために行っていた模擬地震波による解析（1995年）では、M6.5の直下地震の想定で原子炉容器の応答値と許容値の比が1.16と安全余裕度はほとんど無い。工学的には普通は2~3倍の安全余裕度を考えているようである。外力が想定されている場合でも1.5程度だそうである。
- 原発の直下で直下型地震が起きた場合、短い周期の揺れが岩盤では良く伝わり、原発のように窓のない剛構造の建物は短い周期の揺れに対して非常によく揺れてしまうという欠点がある。直下型地震の場合、岩盤に建つ原発の方が危ないということになると思う
- 耐震安全性を考えるとときに、材料の老朽劣化を考慮しているかどうか。もししているということであれば、劣化診断技術があるのか。

論 点	< 2 > 耐震設計と熱応力設計という相反する条件の妥協の上に設計されているので軽水炉に比較して地震に弱い。
「 もんじゅ 」の 対応	一般的に構造物は、肉厚が厚いほど圧力や自重，地震等の機械的な荷重による応力が小さくでき、薄いほど冷却材の急激な温度変化の際に板厚内の温度差によって発生する応力は小さくできる。 「もんじゅ」では、内圧や自重，地震等の機械的荷重による応力の制限と、冷却材の急激な温度変化の際に板厚内の温度差によって発生する応力の制限を共に満足する肉厚を選定し、全ての荷重に対して健全性が確保できるように設計している。 従って、「もんじゅ」が軽水炉に比べて地震に弱いということはない。 [関連図：]

論 点	< 3 > 「もんじゅ」の大口径、薄肉配管引き回しに対する耐震性
「もんじゅ」での対応	(1) 配管の口径・肉厚に関して 「もんじゅ」では、冷却材の温度は高いが圧力が低いため、冷却材流量が大きいことに対応し配管が大口径である割に肉厚が薄くなっている。 肉厚が薄い方が、冷却材の急激な温度変化の際に板厚内の温度差による応力の発生が少ないという利点がある。 (2) 配管の引き回しに関して 冷却材の温度が高いことから、熱膨張を逃がすために配管系にはエルボ（曲がり部）を多く設置している。曲がりが多い分、全体として柔らかくなることから、通常時に配管系の自重を支える支持装置に加えて、熱膨張を拘束せずに地震動のみを拘束する支持装置を適切に取り付けている。このような設計の方法は中高温の流体を扱う配管では、一般的である。 (3) 支持構造物に関して 「もんじゅ」の配管で使用している支持装置は、国内外で使用されている装置と同種の信頼性のある支持装置である。「もんじゅ」のみの特別な支持装置ではない。 〔関連図： 〕

論 点	< 4 > 吊り下げ型の原子炉の耐震性について
「もんじゅ」での対応	原子炉容器は、燃料及び内包する1次冷却材ナトリウム等を保持し、想定される熱、地震等の荷重に対して健全性を確保することが要求されている。 「もんじゅ」の原子炉容器はフランジを有する円筒たて形容器である。原子炉容器は上部を原子炉建物の一部であるペDESTAL部に基礎ボルトで固定する構造である。これにより水平・上下地震動の力を支持している。それに加えて水平地震動に対しては、下部に支持構造物を設置することにより地震時の横方向の力も支持している。 なお、原子炉容器の肉厚は、軽水炉に比べて低圧のため薄肉であるが自重や地震時の荷重に十分耐え得る厚さとなっている。 〔関連図： 〕

論 点	< 5 > 現行の耐震設計審査指針は薄肉の配管・機器等に関する考慮が不十分
「 もんじゅ 」 で の 対 応	(1)現行の耐震設計審査指針は、想定される地震に対して原子炉施設の安全性を確保するために必要十分な耐震設計を実施するよう規定した指針となっており、適切なものであると考えている。 (2)耐震設計審査指針の「荷重の組合せと許容限界」は、通常運転時及び事故時等に生じる荷重と、地震力を組み合わせても、機器・配管に発生する応力を許容限界以下に制限するよう定めている。「もんじゅ」でもこの指針に基づき設計していることから、薄肉の配管・機器等に関する考慮が不十分ということはない。 〔関連図： 〕

論 点	< 6 > 模擬地震波による解析（1995 年）では、M6.5 の直下地震の想定で原子炉容器の応答値と許容値の比が 1.16 と安全余裕度はほとんど無い。工学的には普通は 2~3 倍の安全余裕度を考えているようである。外力が想定されている場合でも 1.5 程度。
「もんじゅ」への対応	設計における許容値は、材料の大きな変形や破断に対して余裕を持って定められているため、許容値そのものが、余裕、即ち安全率を持って設定されている。従って、解析結果がその許容値以下であれば構造物は安全である。 原子炉容器の応答値と許容値の比が 1.16 であるとの指摘であるが、許容値そのものが余裕を持つため、安全余裕は十分であると言える。 例えば、構造設計における 1 次応力の制限では、膜応力と曲げ応力を考えるが、膜応力では材料の降伏応力の 2/3 まで、膜応力 + 曲げ応力では材料の降伏応力までの範囲で構造物を設計することが求められている（設計における許容値）。しかし、実際に構造物が大きく変形する境目はこの範囲を超えた所にあることから、設計における許容値は構造物の破損に対して十分な余裕を持った値となっている。 応力：構造物に働く力をその断面積で除し、単位面積当たりの大きさで表した力 1 次応力：応力は 1 次応力と 2 次応力が定義されている。内圧、外力等の力によって構造物に発生する応力を 1 次応力という。これに対し、熱膨張の拘束等により 2 次的に発生する応力を 2 次応力という。 膜応力：構造物の断面に働く応力は必ずしも均一とは限らない。このため断面の垂直方向に働く各部の応力を平均化した応力を膜応力という。 曲げ応力：断面に垂直方向に働く各部の応力と膜応力の差を曲げ応力という 降伏応力：材料に力を加えると変形するが、力が小さければ力を取り除けば元の形へ戻る。しかし、ある一定以上の大きな力を加えると、力を取り除いても変形は元に戻らない。これを塑性変形というが、この塑性変形を始める境目の応力を降伏応力という。 〔関連図： 〕

論点	< 7 > 短い周期の揺れが岩盤では良く伝わり、原発のように窓のない剛構造の建物は短い周期の揺れに対して非常によく揺れてしまうという欠点がある。直下型地震の場合、岩盤に建つ原発の方が危ないのではないか。
「もんじゅ」での対応	(1) 原子力発電所は剛構造を採用しているが、短い周期から長い周期までの地震動に対して耐震安全性を評価しており、短い周期の揺れに対しても十分耐えるように設計している。 (2) 一般に地盤は固い岩盤の上に柔らかい表層地盤が堆積しており、表層地盤上に比べ岩盤上の方が揺れは小さい。これは直下型地震に対しても同様であり、岩盤上に建つ原子力発電所の方が危ないということはない。 〔関連図： 〕

論 点	< 8 > 耐震安全性における材料の老朽劣化への配慮
「もんじゅ」での対応	(1) 材料には腐食による減肉、疲労、照射による劣化（脆化）等が考えられ、これら材料劣化に関しては、高温構造設計方針（基準）に基づき設計時点で評価を行い、あらかじめ余裕を見込んだ設計を行っている。 (2) 運転開始後の材料劣化に対する具体的対応策としては、 ナトリウム中の金属材料の腐食はナトリウム中の純度が良ければ（酸素濃度が低い）ほとんど腐食しないことが従来知見から分かっている。従って、ナトリウムの純度（酸素濃度）管理を行って機器・配管の腐食減肉を抑制している。 水や蒸気、海水と接する機器・配管は、腐食・侵食による減肉が想定されることから、保安上あるいは財産保護上重要な機器・配管に関しては、点検時に肉厚測定を行い、減肉量を監視している。 原子炉容器等の中性子照射を受ける材料に関しては、監視用の試験片を炉心に入れ、定期的に試験片を取出し材料試験によって強度を確認する計画としている。

いただいた意見：2) 地震活動

- 地震発生の可能性について、十分な検証をし、少しでも危険性が見つかれば「もんじゅ」を廃炉にすべき。
- 原発設備は関東大震災程度なら大丈夫な設計がなされていると聞いたが、この地で起きた大震災が再び起きないとは言い切れず、原発が耐え得るか心配。(三方町古文書で寛文年間における若狭の大地震を知った。最近地震学者の研究によって、古文書の正確さが証明されている。)
- 「もんじゅ」の立地場所は、空白地帯(甲楽城断層、柳ヶ瀬断層)による地震や近傍のブロック内の活断層(白木 - 丹生リニアメント断層群、敦賀半島西岸断層など)が動いた時に起こる地震の危険性がある。
- 比較的安定地域であった関西、中国地方に大地震が続発しており、敦賀周辺には甲楽城断層外いくつかの断層の存在することからも果たして「もんじゅ」が災害時に安全が保てるのかどうか不安がある。

論点	< 9 > 地震発生の可能性についての十分な検証
「もんじゅ」での対応	(1) 耐震設計で用いる地震動を基準地震動というが、その強さの程度に応じて2種類の地震動 S1 及び S2 がある。 (2) 基準地震動 S1 を決定するのに際して考慮する地震は、将来起こることを予期することが適切と考えられる地震であって、歴史地震や活動性の高い活断層による地震を考える。これらのうち、敷地の岩盤に最大の地震動を与える地震を設計用最強地震という。 (3) 基準地震動 S2 を決定するのに際して考慮する地震は、地震学的な検討の観点で設計用最強地震を上回る地震が起らないとは言えないことから、それを上回る地震の発生を仮定したものである。ここでは、地質・地盤調査の結果、「もんじゅ」の直下に活断層が存在しないことを確認しているが、発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針に基づき、基準地震動 S2 を決定するに際して考慮する地震には念のためマグニチュード 6.5 の直下地震も加えている。同様、これらの地震のうち、敷地の岩盤に最大の地震動を与える地震を設計用限界地震という。 〔関連図： 〕

論点	< 10 > 歴史地震への配慮
「もんじゅ」での対応	原子力発電所の耐震設計をする際には、記録に残った歴史地震についても当然考慮している。三方町古文書記載の寛文年間の地震については、もんじゅの基準地震動設定の際に、歴史地震の中で寛文近江の地震(1662年)として考慮している。 〔関連図： 〕

論 点	<11> 敦賀周辺の断層について
「もんじゅ」での対応	(1) 甲楽城断層、柳ヶ瀬断層に関して 「もんじゅ」の周辺にも、甲楽城断層、柳ヶ瀬断層などいくつかの活断層が存在する。これらの断層については詳しい調査を実施し、それぞれの断層による地震を想定し、原子炉施設として安全が確保できるように施設および機器の耐震設計を行っている。 (2) 白木 - 丹生間リニアメントに関して 白木 - 丹生間には「日本の活断層」に确实度（活断層の可能性があるが、変位の向きが不明瞭であったり、他の要因も考えられるもの）としてリニアメントが記載されている。 この白木 - 丹生間については、空中写真判読や地表地質調査を実施し以下のような結果が得られている。 断層運動ではなく、熱水変質という化学的作用によって花崗岩が粘土化した箇所がりニアメントに沿って認められた。 リニアメントは枝分かれたり、硬い花崗岩中に消えるなど長く連続するものではない。 以上のことから白木 - 丹生間の谷状地形は、周囲より柔らかい部分が侵食されてできたもので、その東側が線状の模様として見えたものと判断している。 (3) 敦賀半島西岸断層の存在について 敦賀半島西岸に断層が存在するという主張があるが、仮に断層が存在すれば、それは白木 - 丹生間を通ることになる。白木 - 丹生間については、詳細な空中写真判読や地表地質調査を実施しており、谷状地形の東縁部に不明瞭なりニアメントがあることのみを確認している。 通過すべき白木 - 丹生間には活断層は存在しないので、敦賀半島西岸断層なる断層は存在しない。 リニアメント：地表に現れた線状の地形模様。空中写真判読によって識別することができる。侵食で生じる場合もあり、全てが活断層というわけではない。活断層と認定するためには、地形・地質調査などが必要。 [関連図： 21]

いただいた意見：3) 国の耐震設計審査指針

- ・ 「もんじゅ」の耐震設計は、現行の原子力施設耐震設計基準に基づいて行われているが、これについては各方面から、過小な地震動想定となるとの批判がでている。
- ・ 「もんじゅ」の耐震について、現行の基準やこれまでの耐震設計手法によればいいという考えではなく、最新の科学的知見に基づいて見直しを行うべき。
- ・ 阪神淡路地震クラスの M7.2 直下地震を考慮すると現行の安全設計で十分と考えるのか。
- ・ 最近の阪神、山陰地方等で M7 以上の地震が発生しており、耐震設計の根本的な見直しをすべき。

論点	< 12 > 現行の原子力施設耐震設計基準は過小な地震動想定ではないか。また、最新の科学的知見に基づいて見直すべきでないか。
「もんじゅ」での対応	(1) 現行の国の「耐震設計審査指針」は、想定される地震に対して原子炉施設の安全性を確保するために必要な十分な耐震設計を実施するよう規定された指針であり、適切なものである。 (2) 原子力安全委員会は、平成 13 年 6 月、耐震安全性に係る安全審査指針類の検討に着手した。 この検討は、現行の指針類を新知見・新技術と照らし合わせて検討し、原子力施設の耐震安全性に対する信頼性を一層向上させることを目的としたものである。 (3) 原子力安全委員会での検討の結果、「もんじゅ」に関して何らかの対応が必要となった場合は、実施していく予定である。

論 点	< 13 > 阪神、山陰地方等でのマグニチュード7以上の地震について
「 も ん じ ゆ 」 で の 対 応	兵庫県南部地震(平成7年1月)に関しては、原子力安全委員会の調査、検討により「原子力施設の耐震設計に関する現行の関連指針類は今回の地震を踏まえてもその妥当性が損なわれるものではない。」との結論が出されている。 鳥取県西部地震(平成12年10月)については現在も調査が継続されている。 [関連図 : 22 23 24 25]

いただいた意見：4) 耐震データの情報公開

- ・ 「もんじゅ」の耐震性を考える上で重要なデータ（重要な建屋や機器、配管などの振動性状を示す数値）が、たびたびの指摘にもかかわらず申請書（設計及び工事の方法認可申請書）の中で約1%が現在も空白のままである。
- ・ これらは産業上の機密に属するものではないので公表すべき。
- ・ 委員会としてサイクル機構に情報公開を求め、データを出させて「もんじゅ」の耐震性をチェックすべき。

論点	<14> 申請書（設計及び工事の方法の認可申請書）の公開について
「もんじゅ」での対応	(1) 設計及び工事の方法の認可申請書の公開に関しては、「情報公開指針」に基づき原則公開の姿勢に立ち、サイクル機構のノウハウは全面公開とした。また、メーカノウハウに関してもメーカーの協力を得て非公開部分を1%未満とするまで公開範囲を拡大した。（平成10年6月） (2) 耐震性に関するデータの非公開部分は、耐震設計を行うにあたり、メーカーがこれまで培った独自のノウハウの部分であり、製造者の利権保護の観点から非公開としている。 (3) 耐震安全性については、設計の考え方、評価手法、評価値と許容値などについては公開しており、耐震安全性の確認は行えるものとなっている。