

原規規発第2311015号

令和5年11月1日

九州電力株式会社川内原子力発電所2号炉の
運転期間延長認可申請の
実用炉規則第114条への
適合性に関する審査結果

令和5年11月

原子力規制庁

目 次

1. 審査基準 1. の規定への適合性.....	1
2. 審査基準 2. の規定への適合性.....	1
2.1 特別点検の実施の確認.....	2
2.1.1 実施時期.....	2
2.1.2 対象機器・構造物、その対象の部位、着目する劣化事象及び点検方法等.....	2
2.2 設備の劣化の状況に関する技術的な評価.....	5
2.2.1 劣化状況評価の実施等.....	5
2.2.2 低サイクル疲労.....	7
2.2.3 中性子照射脆化.....	8
2.2.4 照射誘起型応力腐食割れ.....	11
2.2.5 2相ステンレス鋼の熱時効.....	12
2.2.6 電気・計装設備の絶縁低下.....	13
2.2.7 コンクリートの強度低下、遮蔽能力低下、鉄骨の強度低下.....	15
2.2.8 上記評価対象事象以外の事象.....	23
2.2.9 耐震安全性評価.....	23
2.2.10 耐津波安全性評価.....	27
3. 審査結果.....	28

原子力規制委員会原子力規制庁（以下「規制庁」という。）は、2022年10月12日付け原発本第94号（2023年9月13日付け原発本第110号及び2023年10月6日付け原発本第133号をもって一部補正）をもって、九州電力株式会社（以下「申請者」という。）から、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和32年法律第166号。以下「原子炉等規制法」という。）第43条の3の3第4項の規定に基づき申請された川内原子力発電所運転期間延長認可申請書（2号発電用原子炉施設の運転の期間の延長）（以下「本申請」という。）が、原子炉等規制法第43条の3の3第5項に規定する基準である実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和53年通商産業省令第77号。以下「実用炉規則」という。）第114条に適合するものであるかどうかについて審査した。実用炉規則第114条への適合性の審査に当たっては、その要求事項を具体化したものとして定めた「実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準」（原管P発第1311271号（平成25年11月27日原子力規制委員会決定）。以下「審査基準」という。）に適合するものであるかどうかについて審査した。

1. 審査基準1. の規定への適合性

審査基準1. の規定は、運転期間延長認可の時点において、当該時点において適用されている原子炉等規制法第43条の3の14の技術上の基準に適合させるために必要となる原子炉等規制法第43条の3の9及び第43条の3の10に掲げる設計及び工事の計画がすべて同条の規定に基づく認可等の手続きにより確定していることを要求している。

規制庁は、川内原子力発電所2号発電用原子炉施設（以下「2号炉」という。）については、申請者から工事計画認可申請（平成25年7月8日付け発本原第89号により申請（平成26年10月24日付け発本原第114号及び平成27年4月28日付け発本原第25号をもって一部補正））等が提出され、これらに対し、実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成25年原子力規制委員会規則第6号。以下「技術基準規則」という。）に定める基準に適合するものとして認可（以下「工事計画認可」という。）がなされており、現時点において適用されている原子炉等規制法第43条の3の14の技術基準に適合させるために必要となる設計及び工事の計画が確定していることを確認したことから、審査基準1. を満足していると判断した。

2. 審査基準2. の規定への適合性

審査基準2. の規定は、実用炉規則第113条第2項第2号に掲げる原子炉その他の設備の劣化の状況に関する技術的な評価の結果、延長しようとする期間において、同評価の対象となる機器・構造物が審査基準の表に掲げる要求事項に適合すること、又は同評価の結果、要求事項に適合しない場合には同項第3号に掲げる延長しようとする期間における原子炉その他の設備に係る施設管理方針の実施を考慮した上で、延長しようとする期間において、要求事項に適合することを要求している。

規制庁は、本申請について、申請に至るまでの間の運転に伴い生じた原子炉その他の設備の劣化の状況の把握のための点検（以下「特別点検」という。）が適切に実施され、それを踏まえ、

延長しようとする期間における運転に伴い生じる原子炉その他の設備の劣化の状況に関する技術的な評価（以下「劣化状況評価」という。）及び延長しようとする期間における原子炉その他の設備についての施設管理に関する方針（以下「施設管理方針」という。）の策定が適切に実施されていることを確認するとともに、審査基準 2. への適合性の確認を行った。

規制庁は以下に掲げる事項を確認したことから、審査基準 2. を満足していると判断した。

2.1 特別点検の実施の確認

本申請の添付書類 1「川内原子力発電所 2 号炉特別点検結果報告書」により、申請者が実施した特別点検について、「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」（原管 P 発第 1306197 号（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定）。以下「運用ガイド」という。）3.1 の内容により実施されたことを以下のとおり確認した。

2.1.1 実施時期

特別点検の実施時期は、運用ガイド 3.1 では「運転開始後 35 年を経過する日以降に実施するもの」と示している。

規制庁は、2 号炉の特別点検の実施時期について、2 号炉の運転開始後 35 年を経過する日（令和 2 年 11 月 27 日）以降である、令和 2 年 11 月 28 日から令和 4 年 7 月の間で実施されていることを確認できたことにより、申請者が運用ガイドの内容に基づき点検を実施していることを確認した。

2.1.2 対象機器・構造物、その対象の部位、着目する劣化事象及び点検方法等

特別点検の対象機器・構造物、その対象の部位、着目する劣化事象及び点検方法等については、運用ガイド 3.1 の内容により実施することを示している。

規制庁は、特別点検の対象機器・構造物ごとに、以下の内容を確認した。

2.1.2.1 原子炉容器

2.1.2.1.1 母材及び溶接部

規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより、申請者が運用ガイドの内容に基づき点検を実施していることを確認した。

- (1) 特別点検の実施に関する業務は、川内原子力発電所原子炉施設保安規定（以下「保安規定」という。）第 3 条の品質マネジメントシステム計画及びその下位規定を準用して実施していること
- (2) 特別点検の実施に当たっては、品質マネジメントシステム計画及びその下位規定に基づき、点検計画及び要領書の策定、点検の実施、要員の力量の確認、測定機器の管理等を実施していること
- (3) 点検対象の部位は、原子炉容器の母材及び溶接部で炉心領域の 100%としていること

- (4) 点検方法は、着目する劣化事象である中性子照射脆化に対し、これまでの点検検査等で実績のある一般社団法人日本電気協会「軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験規程」(JEAC4207-2016)を準用していること。また、具体的実施方法として、通常の供用期間中検査で実施している斜角45°、斜角60°及び垂直に加え、内表面近傍の欠陥を確認するために斜角70°の超音波探傷試験を実施していること
- (5) 点検を行う試験員として、一般社団法人日本非破壊検査協会による非破壊試験技術者資格の超音波探傷試験レベル2以上の資格を有する者が実施していること
- (6) 点検は、要領書に従い実施され、点検記録が作成されていること
- (7) 点検の結果、有意な欠陥は認められなかったこと

2.1.2.1.2 1次冷却材ノズルコーナー部

規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより、申請者が運用ガイドの内容に基づき点検を実施していることを確認した。

- (1) 特別点検の実施に関する業務は、保安規定第3条の品質マネジメントシステム計画及びその下位規定を準用して実施していること
- (2) 特別点検の実施に当たっては、品質マネジメントシステム計画及びその下位規定に基づき、点検計画及び要領書の策定、点検の実施、要員の力量の確認、測定機器の管理等を実施していること
- (3) 点検対象の部位は、1次冷却材ノズルコーナー部として、入口管台及び出口管台の全数(入口管台3箇所、出口管台3箇所)としていること
- (4) 点検方法は、着目する劣化事象の疲労に対し、これまでの点検検査等で実績のある社団法人日本電気協会「原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針」(JEAG4217-2010)(以下「JEAG4217」という。)を準用していること
- (5) 点検を行う試験員として、一般社団法人日本非破壊検査協会による非破壊試験技術者資格の渦流探傷試験レベル2以上の資格を有する者が実施していること
- (6) 点検は、要領書に従い実施され、点検記録が作成されていること
- (7) 点検の結果、有意な欠陥は認められなかったこと

2.1.2.1.3 炉内計装筒

規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより、申請者が運用ガイドの内容に基づき点検を実施していることを確認した。

- (1) 特別点検の実施に関する業務は、保安規定第3条の品質マネジメントシステム計画及びその下位規定を準用して実施していること
- (2) 特別点検の実施に当たっては、品質マネジメントシステム計画及びその下位規定に基づき、点検計画及び要領書の策定、点検の実施、要員の力量の確認、測定機器の管理等を実施していること

- (3) 点検対象の部位は、炉内計装筒全数の原子炉内側からの溶接部と炉内計装筒内面の溶接熱影響部としていること
- (4) 点検方法は、着目する劣化事象の応力腐食割れに対し、原子炉内側からの溶接部には、これまでの点検検査等で実績のある一般社団法人日本機械学会「発電用原子力設備規格維持規格(2012年版/2013年追補版/2014年追補版)」(JSME S NA1-2012/2013/2014) (以下「維持規格」という。)による目視試験(MVT-1)を準用していること。また、炉内計装筒内面の溶接熱影響部には、JEAG4217による渦流探傷試験を準用していること
- (5) 点検を行う試験員として、原子炉内側からの溶接部は、日本工業規格「非破壊試験技術者の資格及び認証」(JIS Z 2305:2013) 7.4項の視力の要求事項を満足する者が実施していること。また、炉内計装筒内面の溶接熱影響部は、一般社団法人日本非破壊検査協会による非破壊試験技術者資格の渦流探傷試験レベル2以上の資格を有する者が実施していること
- (6) 点検は、要領書に従い実施され、点検記録が作成されていること
- (7) 点検の結果、有意な欠陥は認められなかったこと

2.1.2.2 原子炉格納容器

規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより、申請者が運用ガイドの内容に基づき点検を実施していることを確認した。

- (1) 特別点検の実施に関する業務は、保安規定第3条の品質マネジメントシステム計画及びその下位規定を準用して実施していること
- (2) 特別点検の実施に当たっては、品質マネジメントシステム計画及びその下位規定に基づき、点検計画及び要領書の策定、点検の実施、要員の力量の確認、測定機器の管理等を実施していること
- (3) 点検対象の部位は、原子炉格納容器鋼板のうち、接近できる点検可能範囲の全てとしていること
- (4) 点検方法は、着目する劣化事象の腐食に対し、維持規格による目視試験(VT-4)を準用していること
- (5) 点検を行う試験員として、一般社団法人日本機械学会「発電用原子力設備規格設計・建設規格(以下「設計・建設規格」という。)(2012年版)」(JSME S NC1-2012)GTN-8130項の試験技術者の要求事項を満足する者が実施していること
- (6) 点検は、要領書に従い実施され、点検記録が作成されていること
- (7) 点検の結果、有意な塗膜の劣化や腐食は認められなかったこと

2.1.2.3 コンクリート構造物

規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより、申請者が運用ガイドの内容に基づき点検を実施していることを確認した。

- (1) 特別点検の実施に関する業務は、保安規定第3条の品質マネジメントシステム計画及びその下位規定を準用して実施していること
- (2) 特別点検の実施に当たっては、品質マネジメントシステム計画及びその下位規定に基づき、点検計画及び要領書の策定、点検の実施、要員の力量の確認、測定機器の管理等を実施していること
- (3) 点検対象の部位は、安全機能を有するコンクリート構造物、安全機能を有する系統及び機器を支持するコンクリート構造物、常設重大事故等対処設備に属するコンクリート構造物並びに常設重大事故等対処設備に属する機器を支持するコンクリート構造物としていること
- (4) 点検方法は、着目する劣化事象の強度低下及び遮蔽能力低下に対し、強度は日本工業規格「コンクリートの圧縮強度試験方法」(JIS A 1108:2018)、遮蔽能力は日本建築学会「コンクリートの乾燥単位容積質量試験方法」(JASS 5N T-601:2013)に準じた方法、中性化深さは日本工業規格「コンクリートの中性化深さの測定方法」(JIS A 1152:2018)、塩分浸透は日本産業規格「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」(JIS A 1154:2020)、アルカリ骨材反応はコアサンプルの実体顕微鏡観察等、これまでの点検検査等で実績のある方法を用いていること。また、対象のコンクリート構造物の部位ごとに、運用ガイドで定める点検項目(強度、遮蔽能力、中性化深さ、塩分浸透、アルカリ骨材反応)を実施していること
- (5) 点検を行う試験員として、建築士(1級建築士又は2級建築士)、技術士(建設部門又は応用理学部門)、施工管理技士(1級土木施工管理技士、2級土木施工管理技士、1級建築施工管理技士又は2級建築施工管理技士)、公益社団法人日本コンクリート工学会認定資格のコンクリート主任技士、コンクリート技士、コンクリート診断士のうち、いずれかの資格を有する者が実施していること
- (6) 点検は、要領書に従い実施され、点検記録が作成されていること
- (7) 点検の結果、得られた測定値等を劣化状況評価で使用していること

2.2 設備の劣化の状況に関する技術的な評価

本申請の添付書類2「川内原子力発電所2号炉劣化状況評価書」及び添付書類3「川内原子力発電所2号炉施設管理に関する方針書」について、申請者による当該評価等の業務が運用ガイド3.2及び3.3の内容により実施されたこと、劣化状況評価及び施設管理方針が審査基準の要求事項を満足していることを以下のとおり確認した。

2.2.1 劣化状況評価の実施等

劣化状況評価の実施等について、運用ガイド3.2では「実用炉規則第82条第2項に規定する運転開始後40年を迎える発電用原子炉に係る発電用原子炉施設についての経年劣化に関する技術的な評価(以下「高経年化技術評価」という。)におけるものと同様とする」としていること

から、「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」（原管P発第1306198号（平成25年6月19日原子力規制委員会決定）。以下「実施ガイド」という。）の内容により実施されているか、以下の確認を行った。

2.2.1.1 実施体制及び手順等

実施体制及び手順等について、実施ガイドでは「高経年化技術評価の実施体制、実施方法等プロセスを明確にすること」等を示している。

規制庁は、実施体制及び手順等について、以下のとおり、申請者が実施ガイドの内容に基づき業務を実施していることを確認した。

- (1) 2号炉の高経年化技術評価に係る実施体制として、原子力発電本部の原子力管理部長を統括責任者とし、原子力発電本部原子力経年対策グループ、土木建築本部調査・計画グループ等から構成される体制を構築していること
- (2) 実施手順の確立及びそれぞれの過程に対応する要領書等として、実施計画及び実施手順を社内文書として定め、それに基づき実施していること
- (3) 実施計画及び実施手順は、運転を断続的に行うことを前提とした評価及び冷温停止状態が維持されることを前提とした評価を行う手順とし、運転経験や最新知見の反映を行っていること
- (4) 運転経験や最新知見の反映については、運転開始後30年時点で実施した高経年化技術評価をその後の運転経験、試験研究の成果等技術的知見をもって検証するとともに、長期施設管理方針の意図した効果が現実に得られているかなどの有効性確認を行っていること
- (5) 特別点検の結果を反映していること

2.2.1.2 評価対象機器・構造物の抽出

評価対象機器・構造物の抽出について、実施ガイドでは「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」（平成2年8月30日原子力安全委員会決定）において安全機能を有する構造物、系統及び機器として定義されるクラス1、2及び3の機能を有するもの（実用炉規則別表第2において規定される浸水防護施設に属する機器及び構造物を含む。）並びに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（平成25年原子力規制委員会規則第5号）第43条第2項に規定される常設重大事故等対処設備に属する機器及び構造物のすべてとすること」と示している。

規制庁は、評価対象機器・構造物の抽出について、以下により申請者が実施ガイドの内容に基づき業務を実施していることを確認した。

- (1) 評価対象機器・構造物については、設備の詳細な情報が記載されている工事計画認可申請書、系統図、ブロック図等を用いて抽出していること

2.2.2 低サイクル疲労

2.2.2.1 低サイクル疲労の評価

低サイクル疲労について、審査基準では「健全性評価の結果、評価対象部位の疲れ累積係数が1を下回ることを要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象機器等の抽出

①評価対象機器及び部位として、プラントの起動及び停止時等の過渡時に温度、圧力及び流量変化の影響を受ける機器の部位を抽出していること

(2) 現状の施設管理及び特別点検

①現状の施設管理として、対象部位に応じて超音波探傷試験、漏えい確認、点検検査等が実施され、有意な欠陥のないことなどが確認されていること

②特別点検として、原子炉容器1次冷却材出入口管台ノズルコーナー部の渦流探傷試験が実施され、有意な欠陥のないことが確認されていること

(3) 評価

①前提条件

a. 運転開始から評価実施日までの過渡回数は、運転実績に基づいた値を設定していること

b. 評価実施日から運転開始後60年時点の過渡回数は、申請者が運転を行うとしている令和2年3月から運転開始後60年時点の期間において、運転開始から評価実施日までの過渡回数の発生頻度の1.5倍以上の値を設定していること

②評価手法

a. 疲れ累積係数の評価では、高経年化技術評価で実績のある設計・建設規格(2005年版、2007年追補版)(JSME S NC1-2005、JSME S NC1-2007)による評価手法を用いていること

b. 環境中疲れ累積係数の評価では、評価対象部位のうち炉水環境にある評価対象部位に対し、高経年化技術評価で実績のある社団法人日本機械学会「発電用原子力設備規格環境疲労評価手法(2009年版)」(JSME S NF1-2009)による評価手法を用いていること

c. 疲れ累積係数の評価のうち、熱成層の発生が予想される水平配管等の部位の評価で使用する発生応力値は、3次元モデルによる有限要素法により求めていること

③評価結果

a. 評価の結果、評価対象部位の運転開始後60年時点における疲れ累積係数及び環境中疲れ累積係数が、全ての部位で1を下回ったこと

2.2.2.2 施設管理方針

施設管理方針については、2.2.2.1に示す評価の結果、審査基準の要求事項を満足している

が、更なる対応として以下に掲げる事項を確認した。

- (1) 長期¹の施設管理方針として、「原子炉容器等の疲労割れについては、実績過度回数の確認を継続的に実施し、運転開始後 60 年時点の推定過度回数を上回らないことを確認する」と設定していること

2.2.3 中性子照射脆化

2.2.3.1 加圧熱衝撃評価

加圧熱衝撃評価について、審査基準では「加圧熱衝撃評価の結果、原子炉压力容器の評価対象部位において静的平面ひずみ破壊靱性値が応力拡大係数を上回ることを要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象機器等の抽出

- ①評価対象機器及び部位として、中性子照射量と応力の組合せから靱性が低下する原子炉容器炉心領域部を抽出していること

(2) 現状の施設管理及び特別点検

- ①現状の施設管理として、原子炉容器について超音波探傷試験が実施され、有意な欠陥のないことが確認されていること
- ②特別点検として、炉心領域部の母材及び溶接部について超音波探傷試験が実施され、有意な欠陥のないことが確認されていること

(3) 評価

①前提条件

- a. 監視試験片の取り出し時期を、運用ガイドで「運転開始後 30 年を経過する日から 10 年以内のできるだけ遅い時期」と示しているのに対し、運転開始後 30 年を経過する日（平成 27 年 11 月 27 日）から 10 年以内である令和 2 年 8 月に取り出し、監視試験を実施していること
- b. 監視試験では、一般社団法人日本電気協会「原子炉構造材の監視試験方法」（JEAC4201-2007[2013 年追補版]）（以下「JEAC4201」という。）を用いて、中性子照射量及び遷移温度（Tr30）が求められていること。また、評価時点の静的平面ひずみ破壊靱性値が求められていること
- c. 原子炉容器の炉心領域内表面における中性子照射量を、監視試験による中性子照射量とこれまでの運転実績から算出していること。原子炉容器の深さ 10mm における中性子照射量を、保守的に、炉心領域内表面の値と同じ値としていること

②評価手法

- a. 運転開始後 60 年時点での炉心領域内表面における中性子照射量の算出においては、実施ガイドに定めているとおり、将来の設備利用率の値を 80%以上かつ将来の運

¹ 長期とは 2025 年 11 月 28 日からの 20 年間のことをいう。

転の計画を踏まえたより大きな値を設定していること

- b. 評価に当たっては、社団法人日本電気協会「原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法」(JEAC4206-2007) (以下「JEAC4206」という。)の附属書C「供用状態 C, D における加圧水型原子炉压力容器の炉心領域部に対する非延性破壊防止のための評価方法」を用いて、運転開始後 60 年時点の静的平面ひずみ破壊靱性値の下限包絡曲線及び原子炉容器炉心領域部内表面に深さ 10mm の欠陥を想定した応力拡大係数を示す加圧熱衝撃 (以下「PTS」という。)状態遷移曲線を求めていること。PTS 状態遷移曲線は、PTS 事象として、設計基準事故では小破断 LOCA、大破断 LOCA 及び主蒸気管破断事故を、重大事故等では 2 次冷却系からの除熱機能喪失を対象としていること

③評価結果

- a. 評価の結果、加圧熱衝撃評価により求めた運転開始後 60 年時点の静的平面ひずみ破壊靱性値の下限包絡曲線は、原子炉容器炉心領域部内表面に深さ 10mm の欠陥を想定した応力拡大係数を示す PTS 状態遷移曲線を上回ったこと

2.2.3.2 上部棚吸収エネルギーの評価

上部棚吸収エネルギーの評価について、審査基準では「原子炉压力容器について供用状態に及び以下を満たすこと。ただし、上部棚吸収エネルギーの評価の結果、68J 以上である場合は、この限りでない。延性亀裂進展性評価の結果、評価対象部位において亀裂進展抵抗が亀裂進展力を上回ること。亀裂不安定性評価の結果、評価対象部位において亀裂進展抵抗と亀裂進展力が等しい状態で亀裂進展抵抗の微小変化率が亀裂進展力の微小変化率を上回ること。欠陥深さ評価の結果、原子炉压力容器胴部の評価対象部位において母材厚さの 75%を超えないこと。塑性不安定破壊評価の結果、評価対象部位において塑性不安定破壊を生じないこと」を要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象機器等の抽出

- ①評価対象機器及び部位として、中性子照射量と応力の組合せから靱性が低下する原子炉容器炉心領域部を抽出していること

(2) 現状の施設管理及び特別点検

- ①現状の施設管理として、原子炉容器について超音波探傷試験が実施され、有意な欠陥のないことが確認されていること
- ②特別点検として、炉心領域部の母材及び溶接部について超音波探傷試験が実施され、有意な欠陥のないことが確認されていること

(3) 評価

①前提条件

- a. 監視試験片の取り出し時期を、運用ガイドで「運転開始後 30 年を経過する日から 10 年以内のできるだけ遅い時期」と示しているのに対し、運転開始後 30 年を経過

する日（平成 27 年 11 月 27 日）から 10 年以内である令和 2 年 8 月に取り出し、監視試験を実施していること

- b. 監視試験は、JEAC4201 を用いて行われ、中性子照射量及び上部棚吸収エネルギーが求められていること
- c. 原子炉容器の炉心領域内表面及び深さ 1/4t における中性子照射量を、監視試験による中性子照射量とこれまでの運転実績から算出していること

②評価手法

- a. 運転開始後 60 年時点の上部棚吸収エネルギーの評価において、JEAC4201 の附属書 B「中性子照射による関連温度移行量及び上部棚吸収エネルギー減少率の予測」を用いていること

③評価結果

- a. 評価の結果、運転開始後 60 年時点における上部棚吸収エネルギーの値は母材で 202J、溶接金属で 191J、熱影響部で 193J であり、68J 以上であったこと

2.2.3.3 1 次冷却系の加熱・冷却時の 1 次冷却材温度・圧力の制限範囲の設定等

1 次冷却系の加熱・冷却時の 1 次冷却材温度・圧力の制限範囲の設定について、審査基準では「上記評価の結果から、運転上の制限として遵守可能な、通常の 1 次冷却系の加熱・冷却時の 1 次冷却材温度・圧力の制限範囲又は原子炉冷却材圧力バウンダリに対する供用中の漏えい若しくは水圧検査時の原子炉冷却材の最低温度が設定可能と認められること」を要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価

①前提条件

- a. 通常の 1 次冷却系の加熱・冷却時の 1 次冷却材温度・圧力を、2 号炉で通常実施する原子炉の起動・停止操作による温度・圧力曲線としていること
- b. 原子炉冷却材圧力バウンダリに対する供用中の漏えい又は水圧検査時の原子炉冷却材の温度・圧力を、2 号炉で通常実施する原子炉冷却材圧力バウンダリに対する供用中の漏えい若しくは水圧検査時の温度・圧力範囲としていること
- c. 1 次冷却材の温度・圧力の制限範囲を、2.2.3.1 から 2.2.3.2 により求めた運転開始後 60 年時点の評価結果から設定していること

②評価手法

- a. 本評価において、通常の 1 次冷却系の加熱・冷却時の 1 次冷却材温度・圧力及び原子炉冷却材圧力バウンダリに対する供用中の漏えい又は水圧検査時の原子炉冷却材の温度・圧力が、設定可能な 1 次冷却材の温度・圧力の制限範囲内にあることを確認していること

③評価結果

- a. 評価の結果、通常の 1 次冷却系の加熱・冷却時の 1 次冷却材温度・圧力及び原子

炉冷却材圧力バウンダリに対する供用中の漏えい又は水圧検査時の原子炉冷却材の温度・圧力が、設定可能な1次冷却材の温度・圧力の制限範囲内にあったこと

2.2.3.4 施設管理方針

施設管理方針については、2.2.3.1から2.2.3.3に示す評価の結果、審査基準の要求事項を満足しているが、運用ガイド3.3では「運転開始後40年を経過する日から10年以内の適切な評価が実施できる時期に監視試験片を取り出し、当該監視試験片に基づき行う監視試験の計画」を記載することを示していることから、以下に掲げる事項を確認した。

- (1) 中長期²の施設管理方針として、「原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化については、今後の原子炉の運転サイクル・照射量を勘案して第5回監視試験を実施する」と設定していること

2.2.4 照射誘起型応力腐食割れ

照射誘起型応力腐食割れについて、審査基準では「健全性評価の結果、評価対象部位において照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性が認められる場合は、照射誘起型応力腐食割れの発生及び進展を前提としても技術基準規則に定める基準に適合すること」を要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象機器等の抽出

- ① 評価対象機器として、ステンレス鋼で製作され、照射誘起型応力腐食割れに対する感受性が発生すると考えられる 1×10^{21} n/cm² (E>0.1MeV) 以上の中性子照射を受ける炉内構造物を抽出していること
- ② 炉内構造物の評価対象部位を、バッフルフォーマボルト、炉心バッフル、炉心槽等の炉内構造物を構成する部位としていること

(2) 現状の施設管理

- ① 現状の施設管理として、構造物の健全性を確認するために、定期的に炉内構造物の目視確認が実施され、異常のないことが確認されていること

(3) 評価

- ① 本評価を、ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの発生可能性評価（以下「発生可能性評価」という。）及び照射誘起型応力腐食割れの発生可能性のある部位に対する損傷可能性評価（以下「損傷可能性評価」という。）により行っていること

a. 発生可能性評価手法

- ア. ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの発生可能性評価を、各部位の中性子照射量、応力、温度及び海外の損傷事例により行っていること
- イ. 中性子照射量に対する照射誘起型応力腐食割れの発生可能性の判断基準を、

² 中長期とは2025年11月28日からの10年間のことをいう。

高経年化技術評価で実績のある財団法人発電設備技術検査協会「平成 8 年度プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」(平成 9 年 3 月)により、中性子照射量 1×10^{21} n/cm² (E>0.1MeV) 以上としていること

b. 発生可能性評価結果

ア. 発生可能性評価の結果、照射誘起型応力腐食割れの発生及び進展の可能性が認められる部位として、中性子照射量に対する判断基準を超え、応力が高く、海外における損傷事例があるバップルフォーマボルトが抽出されたこと。その他の部位については、中性子照射量、応力及び温度の実機条件がバップルフォーマボルトに比べて相対的に低いレベルであるため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性が小さいこと

c. 損傷可能性評価手法

ア. バップルフォーマボルトの損傷可能性評価に用いる手法として、高経年化技術評価で実績のある独立行政法人原子力安全基盤機構「平成 20 年度照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書」(平成 21 年 9 月)の添付資料「PWR 型原子力発電所炉内構造物 IASCC 評価ガイド (案)」(平成 21 年 3 月)及び一般社団法人原子力安全推進協会「PWR 炉内構造物点検評価ガイドライン [バップルフォーマボルト] (第 3 版)」(平成 30 年 3 月)(以下「点検評価ガイドライン」という。)による手法を用いていること

イ. バップル構造の機能維持の判断基準を、点検評価ガイドラインを用いて、バップルフォーマボルトの損傷ボルト数を全バップルフォーマボルト数の 20%以下としていること

d. 損傷可能性評価結果

ア. 損傷可能性評価の結果、運転開始後 60 年時点でのバップルフォーマボルトの損傷ボルト数は、全バップルフォーマボルト数の 20%以下であったこと

2.2.5 2相ステンレス鋼の熱時効

ステンレス鋼の熱時効について、審査基準では「延性亀裂進展性評価の結果、評価対象部位において亀裂進展抵抗が亀裂進展力を上回ること」及び「亀裂不安定性評価の結果、評価対象部位において亀裂進展抵抗と亀裂進展力が等しい状態で亀裂進展抵抗の微小変化率が亀裂進展力の微小変化率を上回ること」を要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象機器等の抽出

- ① 評価対象機器及び部位として、ステンレス鋼を使用し、使用温度が 250℃以上となる機器のうち、亀裂の原因となる劣化事象の発生が想定される部位を抽出していること

(2) 評価

①前提条件

- a. 評価代表部位として、発生応力が大きい部位、材料中のフェライト含有量の大きい部位並びに発生応力及び材料中のフェライト含有量が大きい部位を抽出していること
- b. 運転開始から評価実施日までの過渡回数として、運転実績に基づいた値を設定していること
- c. 評価実施日から運転開始後 60 年時点の過渡回数として、申請者が運転を行うとしている令和 2 年 3 月から運転開始後 60 年時点の期間において、運転開始から評価実施日までの過渡回数の発生頻度の 1.5 倍以上の値を設定していること
- d. フェライト量を、クロム及びニッケルの含有量から、「Standard Practice for Estimating Ferrite Content of Stainless Steel Castings Containing Both Ferrite and Austenite」(ASTM A800/A800M-20) の線図により求めていること

②評価手法

- a. 延性亀裂進展性評価及び亀裂不安定性評価を、熱時効後の亀裂進展抵抗の算出、評価用想定亀裂の算出、亀裂進展力の算出、亀裂進展抵抗と亀裂進展力の比較という手順により行っていること
- b. 熱時効後の亀裂進展抵抗の算出において、高経年化技術評価で実績のある電力共通研究報告書「1 次冷却材管等の時効劣化に関する研究 (STEPⅢ) (その 2) 平成 10 年度 (最終報告書)」(平成 11 年 3 月) による脆化予測モデルを用い、さらに材料の脆化度合いを運転年数によらず最大まで進行したと仮定していること
- c. 亀裂進展力の評価に使用する評価用想定亀裂の算出において、高経年化技術評価で実績のある社団法人日本電気協会「原子力発電所配管破損防護設計技術指針」(JEAG4613-1998) を用い、初期欠陥を設定し、亀裂進展解析により運転開始後 60 年時点の亀裂長さ及び深さを求めた上で、さらに深さについては貫通亀裂としていること
- d. 亀裂進展力の算出において、評価用想定亀裂と供用状態 A, B 並びに重大事故等時の内圧、自重、熱及び地震力を用いていること

③評価結果

- a. 延性亀裂進展性評価の結果、亀裂進展抵抗が亀裂進展力を上回ったこと
- b. 亀裂不安定性評価の結果、亀裂進展抵抗と亀裂進展力が等しい状態で、亀裂進展抵抗の微小変化率が亀裂進展力の微小変化率を上回ったこと

2.2.6 電気・計装設備の絶縁低下

2.2.6.1 点検検査結果による健全性評価

電気・計装設備の絶縁低下について、審査基準では「点検検査結果による健全性評価の結果、

評価対象の電気・計装設備に有意な絶縁低下が生じないこと」を要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象機器等の抽出

①評価対象機器及び部位は、2.2.1.2で抽出された機器・構造物のうち電気・計装設備の絶縁材料等を評価対象部位としていること

(2) 現状の施設管理

①現状の施設管理として、絶縁診断等の点検検査が実施され、傾向管理を行うことにより、有意な絶縁低下と判断する値に達する前に取替え等の管理が実施されていること

(3) 評価

①評価手法

- a. 点検検査結果による健全性評価として、評価対象機器ごとに現状の施設管理による絶縁低下傾向の管理ができていないか確認を行っていること
- b. 絶縁低下傾向の管理として、点検検査の実施、絶縁低下の状況の傾向把握、有意な絶縁低下と判断する値の設定及び有意な絶縁低下と判断する値に達する前の取替え等の管理を行っていること

②評価結果

- a. 評価の結果、評価対象の電気・計装設備に有意な絶縁低下が生じないように絶縁低下傾向の管理を行っていること

2.2.6.2 環境認定試験による健全性評価

電気・計装設備の絶縁低下について、審査基準では「環境認定試験による健全性評価の結果、設計基準事故環境下で機能が要求される電気・計装設備及び重大事故等環境下で機能が要求される電気・計装設備に有意な絶縁低下が生じないこと」を要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより、要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象機器等の抽出

①評価対象機器及び部位として、設計基準事故環境下で機能が要求される電気・計装設備及び重大事故等環境下で機能が要求される電気・計装設備を抽出していること

(2) 評価

①前提条件

- a. 評価代表部位として、電圧区分、形式、設置場所、絶縁材料等によりグループ化した中から使用条件が厳しいものを抽出していること
- b. 評価に用いる通常運転時の放射線量及び温度として、布設箇所周囲の実測値等を用いていること。また、設計基準事故及び重大事故等における放射線量、温度及び圧力として、工事計画認可記載の値を用いていること

②評価手法

- a. 環境認定試験による健全性評価において、高経年化技術評価で実績のある「IEEE

Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」(IEEE Std. 323-1974)等のIEEE規格、社団法人電気学会「電気学会技術報告Ⅱ部第139号原子力発電所用電線・ケーブルの環境試験方法ならびに耐延焼性試験方法に関する推奨案」及び独立行政法人原子力安全基盤機構「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド」(平成26年2月)を用い、有意な絶縁低下と判断する値となるまでの期間を求めていること

- b. 評価に用いるケーブルの劣化特性として、独立行政法人原子力安全基盤機構「原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究に関する最終報告書」(平成21年7月)にある、温度及び放射線量に応じた劣化進行度合いの実験結果等を用いていること

③評価結果

- a. 評価の結果、有意な絶縁低下と判断する値となるまでの期間は、運転開始後60年以上であったこと

2.2.7 コンクリートの強度低下、遮蔽能力低下、鉄骨の強度低下

2.2.7.1 コンクリートの強度低下(熱)

コンクリートの熱による強度低下について、審査基準では「評価対象部位のコンクリートの温度が制限値(貫通部は90℃、その他の部位は65℃)を超えたことがある場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ることを要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象部位等の抽出

- ①評価対象部位として、運転時に最も高温状態となる内部コンクリートから1次遮蔽壁を抽出していること。また、評価点は、ガンマ発熱の影響が最も大きい炉心領域部及び原子炉容器支持構造物からの伝達熱の影響が最も大きい原子炉容器サポート直下部としていること

(2) 現状の施設管理及び特別点検

- ①現状の施設管理として、コンクリート構造物は定期的な目視点検が実施され、有意な欠陥のないことが確認されていること
- ②特別点検として、強度試験が実施され、設計基準強度を上回っていることが確認されていること

(3) 評価

①前提条件

- a. 断続的運転を前提とした温度解析をしていること
- b. 評価で使用するガンマ発熱を、DORTコードによるガンマ発熱量分布から算出していること

②評価手法

- a. 評価対象部位の最高温度を、DORT コードを用いてガンマ発熱量分布を算出した後、熱伝導方程式を解いて求めていること
- b. 原子炉容器サポート直下部の温度分布を、前提条件を基に、3次元有限要素法による熱流動解析により求めていること

③評価結果

- a. 評価の結果、評価対象部位の最高温度は炉心領域部で約 55℃、原子炉容器サポート直下部で約 54℃であり、制限値 65℃を超えなかったこと

2.2.7.2 コンクリートの強度低下（放射線照射）

コンクリートの放射線照射による強度低下について、審査基準では「評価対象部位の累積放射線照射量が、コンクリート強度に影響を及ぼす可能性のある値を超えている又は超える可能性が認められる場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ることを要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象部位等の抽出

- ①評価対象部位として、中性子照射量及びガンマ線照射量の最も大きい内部コンクリートから1次遮蔽壁を抽出していること。また、評価点は、中性子照射量及びガンマ線照射量が最大となる1次遮蔽壁炉心側コンクリートとしていること

(2) 現状の施設管理及び特別点検

- ①現状の施設管理として、コンクリート建造物の定期的な目視点検が実施され、有意な欠陥のないことが確認されていること
- ②特別点検として、強度試験が実施され、設計基準強度を上回っていることが確認されていること

(3) 評価

①前提条件

- a. 評価で使用する放射線照射量を、これまでの運転履歴から求めていること

②評価手法

- a. 本評価として、コンクリート建造物の中性子線による影響及びガンマ線による影響の評価を行い、累積放射線照射量がコンクリート強度に影響を及ぼす可能性があるとは判断した場合には耐力評価を行うとしていること
- b. 累積放射線照射量の評価の手法として、2次元輸送コード DORT を用いて、1次遮蔽壁壁面及び深さ方向の照射量分布を算出していること
- c. コンクリート強度に影響を及ぼす可能性のある累積放射線照射量の判断基準とし

て、小嶋他の文献³から、中性子照射量は $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ 程度 ($E > 0.1 \text{MeV}$)、Hilsdorf 他⁴の文献から、ガンマ線照射量は $2 \times 10^8 \text{Gy}$ 程度としていること

- d. 耐力評価の手法として、コンクリートの壁厚のうち、判断基準を超えた累積放射線照射量を受けたコンクリート壁厚を除いた壁厚で、コンクリートの圧縮耐力及び最大せん断ひずみを算出していること
- e. コンクリートの圧縮耐力の基準値を設計荷重としていること。また、最大せん断ひずみは高経年化技術評価で実績のある社団法人日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-1987)の基準値を用いていること

③評価結果

- a. 累積放射線照射量評価の結果、1次遮蔽壁炉心側コンクリートの一部において、運転開始後60年時点での中性子照射量が判断基準を超えたこと。そのため、耐力評価を行ったこと
- b. 耐力評価の結果、コンクリートの圧縮耐力は設計荷重を上回ったこと。また、最大せん断ひずみは基準値を下回ったこと

2.2.7.3 コンクリートの強度低下(中性化)

コンクリートの中性化による強度低下について、審査基準では「評価対象部位の中性化深さが、鉄筋が腐食し始める深さまで進行しているか又は進行する可能性が認められる場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ることを要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象部位等の抽出

- ① 評価対象部位を、環境の違いとして温度、相対湿度及び二酸化炭素濃度の測定結果に応じて抽出していること。また、評価点を、塗装の有無及び特別点検による中性化深さの実測値に基づき抽出していること

(2) 現状の施設管理及び特別点検

- ① 現状の施設管理として、コンクリート構造物の定期的な目視点検が実施され、有意な欠陥のないことが確認されていること。また、中性化深さ試験が実施され、中性化の状況が把握されていること
- ② 特別点検として、強度試験が実施され、設計基準強度を上回っていることが確認されていること。また、中性化深さ試験が実施され、中性化深さが測定されていること

³ 小嶋他「中性子照射がコンクリートの強度に及ぼす影響」(NTEC-2019-1001)

⁴ H. K. Hilsdorf, J. Kropp, and H. J. Koch 「The Effects of Nuclear Radiation on the Mechanical Properties of Concrete」(SP 55-10)

(3) 評価

①前提条件

- a. 評価時点での中性化深さは、特別点検により測定した値を用いていること
- b. 中性化深さの推定に用いる温度、相対湿度及び二酸化炭素濃度は実測値を用いていること

②評価手法

- a. 運転開始後 60 年時点の中性化深さの推定では、森永式⁵、岸谷式⁶及び実測値に基づく \sqrt{t} 式⁷を用い、その最大値を抽出していること
- b. 鉄筋が腐食し始める深さの基準値は、高経年化技術評価で実績のある一般社団法人日本建築学会「原子力施設における建築物の維持管理基準・同解説」(平成 27 年 12 月)による手法を用い、屋外は鉄筋のかぶり厚さ、屋内は鉄筋のかぶり厚さに 2cm を加えた値としていること

③評価結果

- a. 評価の結果、調査時点及び運転開始後 60 年時点における中性化深さは鉄筋が腐食し始める深さ以下であったこと

2.2.7.4 コンクリートの強度低下(塩分浸透)

コンクリートの塩分浸透による強度低下について、審査基準では「評価対象部位に塩分浸透による鉄筋腐食により有意なひび割れが発生しているか又は発生する可能性が認められる場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ることを要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象部位等の抽出

- ①評価対象部位として、海水及びその飛沫の影響により厳しい塩分浸透環境下にある部位である取水構造物(気中帯、干満帯、海中帯)を抽出していること。また、評価点は特別点検による塩化物イオン濃度の実測値から抽出していること

(2) 現状の施設管理及び特別点検

- ①現状の施設管理として、コンクリート構造物の定期的な目視点検が実施され、有意な欠陥のないことが確認されていること
- ②特別点検として、塩分浸透試験が実施され、深さ方向の塩化物イオン濃度が測定されていること

⁵ 学位論文「鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究」(森永繁、昭和 61 年 11 月)

⁶ 社団法人日本建築学会「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説」(平成 3 年 7 月)

⁷ 公益社団法人土木学会「コンクリート標準示方書 維持管理編」(平成 30 年 10 月)

(3) 評価

①前提条件

- a. 評価時点での塩化物イオン濃度は、特別点検により測定した値を用いていること

②評価手法

- a. 運転開始後 60 年時点の鉄筋位置での塩化物イオン濃度の推定は、拡散方程式により算出していること。鉄筋腐食減量は森永式⁸を用いて塩化物イオン濃度から算出していること
- b. かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量は、森永の鉄筋腐食量に関する研究論文⁸により算出した値を用いていること

③評価結果

- a. 評価の結果、調査時点及び運転開始後 60 年時点における鉄筋腐食減量は、かぶりコンクリートにひび割れが発生する鉄筋腐食減量を下回ったこと

2.2.7.5 コンクリートの強度低下（アルカリ骨材反応）

コンクリートのアルカリ骨材反応による強度低下について、審査基準では「評価対象部位にアルカリ骨材反応による有意なひび割れが発生している場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ることを要求している。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象部位等の抽出

- ①評価対象部位は、全てのコンクリート構造物としていること

(2) 現状の施設管理及び特別点検

- ①現状の施設管理として、コンクリート構造物は定期的な目視点検が実施され、有意な欠陥のないことが確認されていること
- ②特別点検として、実体顕微鏡観察等が実施され、コンクリート構造物の健全性に影響を与えるようなアルカリ骨材反応のないことが確認されていること

(3) 評価

①評価手法

- a. 現状の施設管理による目視点検の結果から、アルカリ骨材反応によるひび割れがないことを確認していること
- b. 特別点検のコアサンプルの実体顕微鏡観察等の結果から、健全性に影響を与えるようなアルカリ骨材反応がないことを確認していること

⁸ 学位論文「鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究」（森永繁、昭和 61 年 11 月）

- c. モルタルバー法^{9,10}又は化学法¹¹による反応性試験の結果から、使用骨材が無害であることを確認していること

②評価結果

- a. 評価の結果、目視点検でアルカリ骨材反応によるひび割れはなかったこと。特別点検で健全性に影響を与えるようなアルカリ骨材反応がなかったこと。モルタルバー法等による反応性試験で、使用骨材が無害であったこと

2.2.7.6 コンクリートの強度低下（機械振動）

コンクリートの機械振動による強度低下について、審査基準では「評価対象機器のコンクリート基礎への定着部周辺コンクリート表面に機械振動による有意なひび割れが発生している場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ることを要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象部位等の抽出

- ①評価対象部位として、比較的大きな振動を受ける部位である原子炉補助建屋の非常用ディーゼル発電設備基礎及びタービン建屋のタービン架台を抽出していること。また、評価点は基礎ボルト周辺コンクリートとしていること

(2) 現状の施設管理及び特別点検

- ①現状の施設管理として、コンクリート構造物の定期的な目視点検が実施され、有意な欠陥のないことが確認されていること
- ②特別点検として、強度試験が実施され、設計基準強度を上回っていることが確認されていること

(3) 評価

①評価手法

- a. 現状の施設管理による目視点検の結果から、機械振動によるひび割れがないことを確認していること

②評価結果

- a. 評価の結果、機械振動による有意なひび割れは確認されなかったこと

2.2.7.7 コンクリートの強度低下（凍結融解）

コンクリートの凍結融解による強度低下について、審査基準では「評価対象部位に凍結融解に

⁹ ASTM C227:1981 及び JASS 5N T-201:1985 (ASTM C227: Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method), JASS 5N T-201: 日本建築学会「骨材の反応性試験方法(案)」)

¹⁰ JIA A 1146:2017 (JIS A 1146: 骨材のアルカリシリカ反応性試験方法 (モルタルバー法))

¹¹ JIS A 1145:2017 (JIS A 1145: 骨材のアルカリシリカ反応性試験方法 (化学法))

よる有意なひび割れが発生している場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ることを要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象部位等の抽出

①評価対象部位として、全てのコンクリート構造物を対象としていること

(2) 現状の施設管理

①現状の施設管理として、コンクリート構造物の定期的な目視点検が実施され、有意な欠陥のないことが確認されていること

(3) 評価

①評価手法

- a. 現状の施設管理による目視点検の結果から、凍結融解によるひび割れがないことを確認していること
- b. 凍結融解が発生する可能性の有無について、一般社団法人日本建築学会「建設工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事(2018)」による凍害危険度の分布により、川内原子力発電所の立地地域の凍害危険度を確認していること
- c. 凍結融解の発生の可能性の判断基準を、凍害危険度 2 以上としていること

②評価結果

- a. 評価の結果、凍結融解による有意なひび割れが確認されなかったこと。川内原子力発電所の立地地域は凍害危険度 1 の区域であり、凍結融解が生じる可能性は低いこと

2.2.7.8 コンクリートの遮蔽能力低下（熱）

コンクリートの熱による遮蔽能力低下について、審査基準では「中性子遮蔽のコンクリートの温度が 88℃又はガンマ線遮蔽のコンクリートの温度が 177℃を超えたことがある場合は、評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の遮蔽能力が原子炉設置（変更）許可における遮蔽能力を下回らないこと」を要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象部位等の抽出

①評価対象部位として、運転時に最も高温状態となる内部コンクリートから 1 次遮蔽壁を抽出していること。また、評価点は、運転時に最も高温となる炉心領域部及び原子炉容器サポート直下部としていること

(2) 現状の施設管理及び特別点検

①現状の施設管理として、コンクリート構造物の定期的な目視点検が実施され、有意な欠陥のないことが確認されていること

②特別点検として、乾燥単位容積質量試験が実施され、遮蔽能力が確認されていること

(3) 評価

①前提条件

- a. 断続的運転を前提とした温度解析をしていること
- b. 評価で使用するガンマ発熱を、DORT コードによるガンマ発熱量分布から算出していること
- c. 1次遮蔽壁の遮蔽能力は、特別点検の測定結果から設計条件を満足していることを確認していること

②評価手法

- a. 炉心領域部の温度分布は、前提条件を基に、熱伝導方程式を解いて求めていること
- b. 原子炉容器サポート直下部の温度分布は、前提条件を基に、3次元有限要素法による熱流動解析により求めていること

③評価結果

- a. 評価の結果、評価点の最高温度は炉心領域部で約 55℃、原子炉容器サポート直下部で約 54℃であり、中性子遮蔽のコンクリート温度の基準値 (88℃)、ガンマ線遮蔽のコンクリート温度の基準値 (177℃) を下回ったこと

2.2.7.9 鉄骨の強度低下（腐食）

鉄骨の腐食による強度低下について、審査基準では「評価対象部位に腐食による断面欠損が生じている場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ることを要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象部位等の抽出

- ①評価対象部位は、全ての鉄骨構造物としていること

(2) 現状の施設管理

- ①現状の施設管理として、鉄骨構造物の定期的な目視点検が実施され、強度に影響をきたす可能性のある腐食がないことが確認されていること。また、鉄骨の腐食に影響するような塗膜の劣化等が認められた場合には、塗膜の補修が実施されていること

(3) 評価

①評価手法

- a. 現状の施設管理による目視点検の結果から、断面欠損が生じるような鉄骨の腐食がないことを確認していること

②評価結果

- a. 評価の結果、評価対象部位に断面欠損が生じるような腐食はなかったこと

2.2.7.10 鉄骨の強度低下（風などによる疲労）

風などによる疲労に係る鉄骨の強度低下について、審査基準では「評価対象部位に風などの繰

り返し荷重による疲労破壊が発生している又は発生する可能性が認められる場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ることを要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象部位等の抽出

- ①評価対象部位として、疲労破壊が生じるような風などによる繰り返し荷重を継続的に受ける構造物から、産業界で実績のある一般社団法人日本建築学会「建築物荷重指針・同解説(2015)」に基づき、構造物のアスペクト比が4以上の構造物を抽出していること
- ②抽出の結果、アスペクト比が4以上の構造物は抽出されなかったこと

2.2.8 上記評価対象事象以外の事象

2.2.2から2.2.7の劣化事象以外の事象について、審査基準では「劣化傾向監視等劣化管理がなされていない事象について、当該事象が発生又は進展している若しくはその可能性が認められる場合は、その発生及び進展を前提とした健全性評価を行い、その結果、技術基準規則に定める基準に適合すること」を要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象機器等の抽出

- ①2.2.2から2.2.7の劣化事象以外の事象のうち、劣化傾向監視等の劣化管理がなされていない事象を抽出していること

(2) 評価

①評価手法

- a. 劣化傾向監視等の劣化管理がなされていない事象について、劣化の進展の傾向の有無を評価していること
- b. 評価は、現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により確認していること

②評価結果

- a. 評価の結果、劣化傾向監視等の劣化管理がなされていない全ての劣化事象について、経年劣化の進展が考えられない又は進展傾向が極めて小さいことが確認されたこと

2.2.9 耐震安全性評価

2.2.9.1 応力等評価

応力及び疲れ累積係数の評価について、審査基準では「経年劣化事象を考慮した機器・構造物について地震時に発生する応力及び疲れ累積係数を評価した結果、耐震設計上の許容限界を下回ることを要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事

項を満足していると判断した。

(1) 評価対象事象、機器・構造物の抽出

- ①耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象として、2.2.2 から 2.2.7 の劣化事象に加え、劣化傾向監視等の劣化管理がなされている劣化事象のうち、これらの劣化事象が顕在化した場合に、振動応答特性上又は構造強度上から地震による影響が有意である事象を抽出していること
- ②評価対象機器・構造物として、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の影響を受ける機器・構造物であって、かつ応力評価及び疲れ累積評価が必要な評価対象部位を抽出していること

(2) 評価

①前提条件

- a. 評価において使用する地震力は、工事計画認可で使用している地震力としていること
- b. 評価対象部位の劣化の想定では、運転開始後 60 年時点での推定劣化量又は取替基準値を使用していること

②評価手法

- a. 評価は、社団法人日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-1984、JEAG4601-1987、JEAG4601-1991) 等の規格に基づき、工事計画認可で使用している手法に従い実施していること
- b. 評価で使用する流れ加速型腐食の減肉条件は、保守的な解析条件として、減肉形状を周軸方向一様減肉としていること
- c. 流れ加速型腐食を考慮した機器・構造物に対する応力評価では、取替基準値を踏まえた応力評価を行っていること
- d. 疲れ累積係数評価では、2.2.2 で求めた疲れ累積係数及び環境中疲れ累積係数に、地震時の疲れ累積係数を加えて求めていること

③評価結果

- a. 応力評価の結果、発生応力が許容応力を下回ったこと
- b. 疲れ累積係数評価の結果、疲れ累積係数が 1 を下回ったこと

2.2.9.2 想定亀裂（欠陥）に対する破壊力学評価

亀裂進展力及び応力拡大係数等の評価について、審査基準では「経年劣化事象を考慮した機器・構造物について地震時に発生する応力、亀裂進展力及び応力拡大係数を評価した結果、想定亀裂（欠陥）に対する破壊力学評価上の許容限界を下回ること」を要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象事象、機器・構造物の抽出

- ①耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象として、2.2.2 から 2.2.7 の劣化事象に

加え、劣化傾向監視等の劣化管理がなされている劣化事象のうち、これらの劣化事象が顕在化した場合に、振動応答特性上又は構造強度上から地震による影響が有意である事象を抽出していること

- ②評価対象機器・構造物として、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の影響を受ける機器・構造物であって、かつ想定亀裂（欠陥）に対する破壊力学評価が必要な評価対象部位を抽出していること

（２）評価

①前提条件

- a. 本評価として、評価対象機器・構造物に想定される劣化事象に応じて、線形破壊力学評価、弾塑性破壊力学評価又は極限荷重評価を実施していること
- b. 評価において使用する地震力は、工事計画認可で使用している地震力としていること
- c. 評価対象部位の劣化の想定では、中性子照射脆化や熱時効等の靱性低下を伴う劣化事象について、運転開始後 60 年時点での推定劣化量を超える値として、運転年数によらず最大の推定劣化量を用いるなどの保守的な劣化量としていること。また、想定欠陥を、劣化事象に応じて、JEAC4206 等の規格又は文献を用いて初期欠陥から 60 年間の進展を予測し、設定していること

②評価手法

- a. 線形破壊力学評価では、劣化状況評価で用いた手法を準用し、地震力を含む応力拡大係数を算出していること
- b. 弾塑性破壊力学評価では、劣化状況評価で用いた手法を準用し、地震時応力及び地震力を含む亀裂進展力を算出していること
- c. 極限荷重評価では、劣化状況評価で用いた手法を準用し、地震時応力を算出していること

③評価結果

- a. 線形破壊力学評価の結果、応力拡大係数が破壊靱性値を下回ったこと
- b. 弾塑性破壊力学評価の結果、亀裂進展力が亀裂進展抵抗を下回ったこと。また、地震時応力が安定限界応力を下回ったこと
- c. 極限荷重評価の結果、地震時応力が安定限界応力を下回ったこと

2.2.9.3 動的機能維持評価

動的機能維持評価について、審査基準では「経年劣化事象を考慮した、地震時に動的機能が要求される機器・構造物の地震時の応答加速度を評価した結果、機能確認済加速度以下であること」を要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象事象、機器・構造物の抽出

- ①耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象として、2.2.2 から 2.2.7 の劣化事象に加え、劣化傾向監視等の劣化管理がなされている劣化事象のうち、これらの劣化事象が顕在化した場合に、振動応答特性上又は構造強度上から地震による影響が有意である事象を抽出していること
- ②評価対象機器・構造物として、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の影響を受ける機器・構造物であって、かつ動的機能維持評価が必要な評価対象部位を抽出していること。また、抽出に当たっては、動的機能維持が求められる機器・構造物の周辺の機器・構造物の経年劣化が、動的機能維持が求められる機器・構造物に与える影響を考慮していること

(2) 評価

①前提条件

- a. 機器・構造物の評価対象部位の劣化の想定では、運転開始後 60 年時点での推定劣化量又は取替基準値を使用していること

②評価手法

- a. 応答加速度の算出では、工事計画認可と同じ手法により地震時の応答加速度を算出していること
- b. 判定に用いる機能確認済加速度は、工事計画認可時に確認した機能確認済加速度としていること

③評価結果

- a. 評価の結果、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であったこと

2.2.9.4 制御棒挿入性評価

制御棒挿入性の評価について、審査基準では「経年劣化事象を考慮した、地震時の燃料集合体の変位を評価した結果、機能確認済相対変位以下であるか又は、同様に制御棒挿入時間を評価した結果、安全評価上の規定時間以下であること」を要求事項としている。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象事象、機器・構造物の抽出

- ①耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象として、2.2.2 から 2.2.7 の劣化事象に加え、劣化傾向監視等の劣化管理がなされている劣化事象のうち、これらの劣化事象が顕在化した場合に、振動応答特性上又は構造強度上から地震による影響が有意である事象を抽出していること
- ②評価対象機器・構造物として、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の影響を受ける機器・構造物であって、かつ制御棒挿入性評価が必要な評価対象部位を抽出していること。

(2) 評価

①前提条件

- a. 評価を行う機器・構造物の評価対象部位の劣化の想定について、制御棒クラスタ案内管の摩耗の劣化の想定は、制御棒クラスタ案内管が機能維持できる最大摩耗量としていること。また、制御棒被覆管の摩耗の劣化の想定は、被覆管の一部が 100% 摩耗するとしていること

②評価手法

- a. 制御棒挿入性の評価では、劣化事象として摩耗を考慮し、工事計画認可と同じ手法を用いて制御棒挿入時間を算出していること
- b. 制御棒挿入時間の判断基準は、工事計画認可を受けた制御棒駆動装置の規定挿入時間を使用していること

③評価結果

- a. 評価の結果、算出した制御棒挿入時間は規定挿入時間以下であったこと

2.2.10 耐津波安全性評価

耐津波安全性評価について、審査基準では「経年劣化事象を考慮した機器・構造物について、津波時に発生する応力等を評価した結果、許容限界を下回ることを要求している。規制庁は、以下に掲げる事項を確認できたことにより要求事項を満足していると判断した。

(1) 評価対象事象、機器・構造物の抽出

- ①耐津波安全上考慮する必要がある経年劣化事象として、2.2.2 から 2.2.7 の劣化事象に加え、劣化傾向監視等の劣化管理がなされている劣化事象のうち、これらの劣化事象が顕在化した場合に、構造強度上及び止水性上、津波による影響が有意である事象を抽出していること
- ②評価対象機器・構造物として、工事計画認可に基づく浸水防護施設のうち、耐津波安全上考慮する必要がある経年劣化事象の影響を受ける機器・構造物であって、津波時に発生する応力等の評価が必要な評価対象部位である計測制御設備（取水ピット水位及び津波監視カメラ）の基礎ボルトを抽出していること

(2) 評価

①前提条件

- a. 評価を行う機器・構造物の対象部位の劣化の想定について、計測制御設備（取水ピット水位及び津波監視カメラ）の基礎ボルトは、運転開始後 60 年時点での推定劣化量を使用していること

②評価方法

- a. 評価は工事計画認可で使用している手法に従い実施していること

③評価結果

- a. 応力評価の結果、発生応力が許容応力を下回ったこと

3. 審査結果

規制庁は1. 及び2. の事項を確認できたことから、本申請が原子炉等規制法第43条の3の32第5項に規定する基準である実用炉規則第114条に適合しているものと判断した。