

島根原子力発電所 2 号炉 高経年化技術評価
(6 事象以外の劣化事象)

補足説明資料

2023 年 12 月 26 日

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
3. 評価対象と評価手法	4
(1) 評価対象	4
(2) 評価手法	4
4. 電気ペネトレーションの技術評価（気密性の低下）	5
(1) 低圧用，高圧用および高耐熱電気ペネトレーションの健全性評価	5
(2) 現状保全	9
(3) 総合評価	9
(4) 高経年化への対応	9
5. まとめ	10
(1) 審査ガイド等記載事項に対する確認結果	10
(2) 施設管理に関する方針として策定する事項	10

別紙 1. 低圧用，高圧用および高耐熱電気ペネトレーションの構造について

別紙 2. 低圧用，高圧用および高耐熱電気ペネトレーションの長期健全性試験における評価期間について

別紙 3. 低圧用，高圧用および高耐熱電気ペネトレーションの長期健全性試験の事故時条件の包絡性について

別紙 4. モジュール型核計装用電気ペネトレーションの気密性低下事象に対する試験について

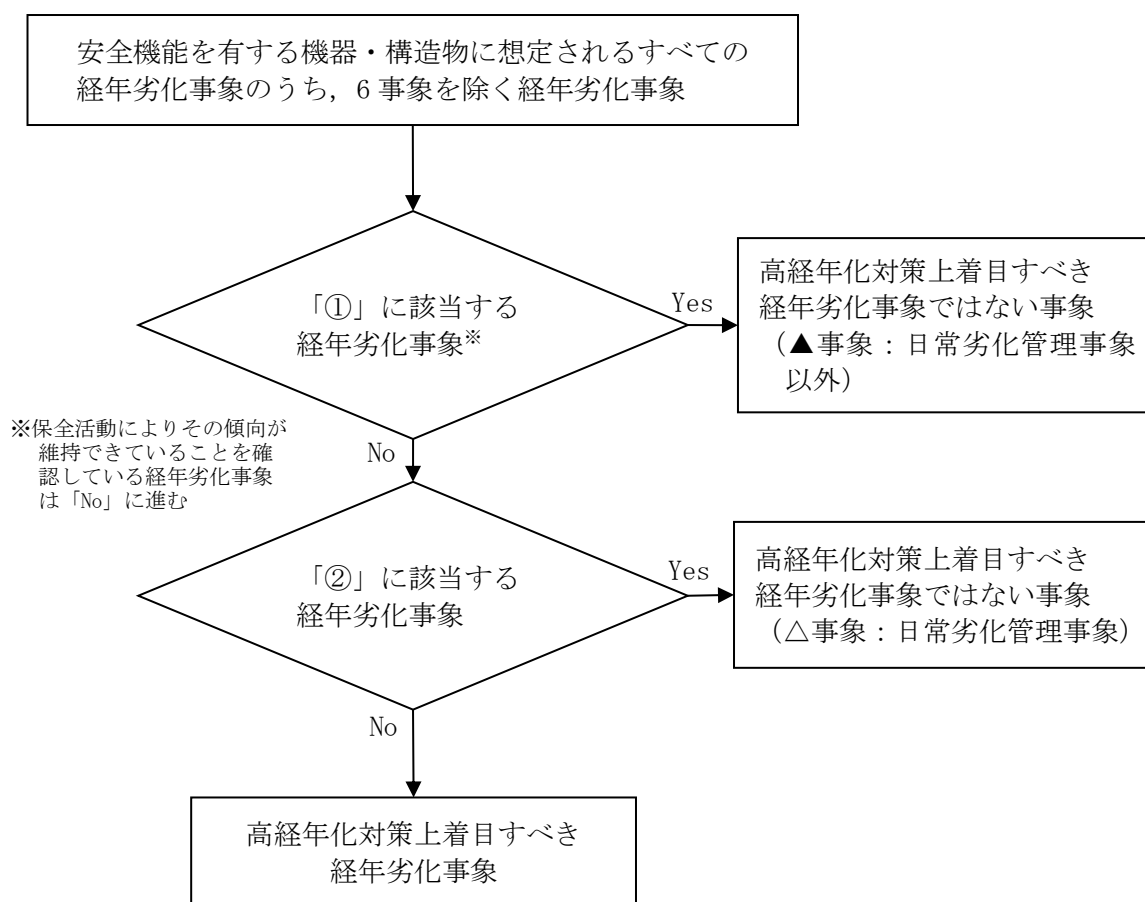
別紙 5. 電気ペネトレーションの事故時条件について

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第82条第1項に基づき実施した高経年化技術評価のうち、評価対象事象以外の事象（以下、「6事象^{※1}以外の劣化事象」という。）の評価結果を説明するものである。

6事象以外の劣化事象抽出フローに従い、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の抽出を行った結果、電気ペネトレーションのシール材およびOリングの劣化による気密性の低下事象が抽出された。

※1：原子力規制委員会の「高経年化対策実施ガイド」に示された、低サイクル疲労、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・計装品の絶縁低下、コンクリートの強度低下および遮へい能力低下をいう。



①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、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象。

②想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの(①に該当する経年劣化事象であるものの、保全活動によりその傾向が維持できていることを確認しているものを含む)。

6事象以外の劣化事象抽出フロー

2. 基本方針

評価対象機器において気密性の低下が発生する可能性について評価し、その発生の可能性が将来にわたって否定できない場合は、その発生または進展に係る健全性評価を行い、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド」および「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」の記載事項（以下、「審査ガイド等記載事項」という。）を踏まえ、高経年化技術評価を実施する。

6事象以外の劣化事象を評価するにあたっての審査ガイド等記載事項を表1に整理する。

表1 (1/2) 6事象以外の劣化事象についての審査ガイド等記載事項

ガイド	記載事項
実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド	<p>3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点</p> <p>(1) 高経年化技術評価の審査</p> <p>⑫健全性の評価 実施ガイド 3.1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。</p> <p>⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。</p> <p>⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。</p> <p>(2) 長期施設管理方針の審査</p> <p>①長期施設管理方針の策定 すべての追加保全策について長期施設管理方針として策定されているかを審査する。</p>

表 1 (2/2) 6 事象以外の劣化事象についての審査ガイド等記載事項

ガイド	記載事項
<p>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</p>	<p>3.1 高経年化技術評価の実施及び見直し</p> <p>⑤抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の施設管理に追加すべき保全策（以下「追加保全策」という。）を抽出すること。</p> <p>イ 実用炉規則第 82 条第 1 項の規定に基づく高経年化技術評価プラントの運転を開始した日から 60 年間</p> <p>3.2 長期施設管理方針の策定及び変更</p> <p>長期施設管理方針の策定及び変更にあたっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>①高経年化技術評価の結果抽出されたすべての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、施設管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期施設管理方針を策定すること。</p> <p>なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期施設管理方針を策定すること。</p> <p>ただし、冷温停止が維持されることを前提とした高経年化技術評価のみを行う場合はその限りでない。</p>

3. 評価対象と評価手法

(1) 評価対象

6 事象以外の劣化事象に該当する事象としては、核計装用、制御計測用並びに低圧動力用モジュール型電気ペネトレーション（以下、「低圧用電気ペネトレーション」という。）、高圧動力用モジュール型電気ペネトレーション（以下、「高圧用電気ペネトレーション」という。）および制御計測用モジュール型高耐熱電気ペネトレーション（以下、「高耐熱電気ペネトレーション」という。）のシール材およびOリングの劣化による気密性の低下が対象となる。

計測用モジュール型 MI 電気ペネトレーション（以下、「MI 電気ペネトレーション」という。）のOリングの劣化による気密性の低下も対象となるが、高耐熱電気ペネトレーションとOリングが同等であるため、高耐熱電気ペネトレーションを代表とし、MI 電気ペネトレーションについては対象としないこととする。

気密性の低下は、気密性を維持するためのバウンダリ部に使用されているゴム、プラスチック等の高分子材料が、環境的（熱・放射線等）、機械的な要因による劣化の進展により、バウンダリ部にき裂等が発生し、気密性を維持出来なくなる事象である。

(2) 評価手法

低圧用電気ペネトレーション、高圧用電気ペネトレーションおよび高耐熱電気ペネトレーション（以下、「低圧用、高圧用および高耐熱電気ペネトレーション」という。）の評価にあたっては、「IEEE Standard for Electric Penetration Assemblies in Containment Structures for Nuclear Power Generating Stations (1976.1983)」(以下、「IEEE Std. 317 (1976.1983)」という。), 「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations (1974)」(以下、「IEEE Std. 323 (1974)」という。), 「IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations (1974)」(以下、「IEEE Std. 383 (1974)」という。)等をもとに実施した長期健全性試験の結果および低圧用、高圧用および高耐熱電気ペネトレーションの点検実績等から健全性について評価する。

4. 電気ペネトレーションの技術評価（気密性の低下）

(1) 低圧用，高圧用および高耐熱電気ペネトレーションの健全性評価

a. 評価手法

事故時に機能要求のある，低圧用，高圧用および高耐熱電気ペネトレーションの設置されている環境条件等と同じであることから，低圧用電気ペネトレーションは，接続機器の原子炉保護上の重要度が高い核計装用電気ペネトレーションを代表に，高圧用電気ペネトレーションは，原子炉再循環ポンプ電動機の動力用のみのため，本電気ペネトレーションを代表に，高耐熱およびMI 電気ペネトレーションについては，Oリングが同等であり，MI 電気ペネトレーションのシール材に有機物は使用されていないことから高耐熱電気ペネトレーションを代表に，IEEE Std. 317

(1976.1983)，IEEE Std. 323 (1974) および IEEE Std. 383 (1974) の規格をもとに島根原子力発電所2号炉に設置されているモジュール型電気ペネトレーションと同等の供試体を用いた長期健全性試験により評価する。

低圧用，高圧用および高耐熱電気ペネトレーションの長期健全性試験手順を図1に示す。

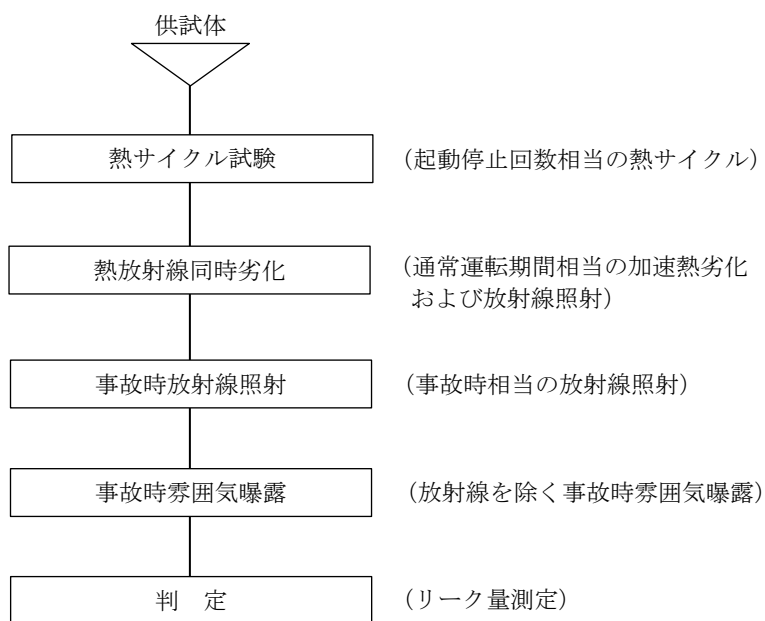


図1 低圧用，高圧用および高耐熱電気ペネトレーションの長期健全性試験手順
(設計基準事故，重大事故等)

b. 試験条件

試験条件は、低圧用および高圧用電気ペネトレーションの60年間の通常運転期間および事故時雰囲気、高耐熱電気ペネトレーションの30年間の通常運転期間および事故時雰囲気を想定した条件を包絡している。

低圧用電気ペネトレーションの長期健全性試験条件を表2に、高圧用電気ペネトレーションの長期健全性試験条件を表3に、高耐熱電気ペネトレーションの長期健全性試験条件を表4に示す。

表2 低圧用電気ペネトレーションの長期健全性試験条件（設計基準事故、重大事故等）

	試験条件	説明
熱サイクル試験	10℃⇄66℃ 120 サイクル	島根2号炉の60年間の起動停止に伴う熱サイクル回数を包絡する。【電気・計装設備の絶縁特性低下補足説明資料添付-6参照】
熱放射線同時劣化	100℃-100Gy/h-31日間 (731時間)	等価損傷簡易手法を用いて、島根2号炉の通常運転時間周囲環境（50℃， 3.3×10^{-2} Gy/h ^{※1} ）で評価した結果、60年間の運転期間を包絡する試験条件となる。【別紙2参照】
事故時放射線照射	4.9×10^5 Gy	島根2号炉で想定される事故時線量 3.6×10^5 Gyを包絡する。
事故時雰囲気曝露	最高温度：178℃ 最高圧力：0.854 MPa 曝露時間：168時間	島根2号炉の事故時の最高温度（178℃ ^{※2} ），最高圧力（0.853 MPa ^{※2} ）を包絡する。【別紙3参照】

※1：原子炉格納容器内で電気ペネトレーションが設置されている区域の実測値。

原子炉格納容器内の通常運転時における実測環境温度の最大値より設定

通常運転時線量 1.8×10^4 [Gy] $\div 3.3 \times 10^{-2}$ [Gy/h] $\times 24$ [h] $\times 365.25$ [d] $\times 60$ [y]

※2：重大事故等時における原子炉格納容器内の環境条件設計値

表 3 高圧用電気ペネトレーションの長期健全性試験条件（設計基準事故，重大事故等）

	試験条件	説明
熱サイクル試験	10℃⇔66℃ 120 サイクル	島根 2 号炉の 60 年間の起動停止に伴う熱サイクル回数を包絡する。【電気・計装設備の絶縁特性低下補足説明資料添付-6 参照】
熱放射線同時劣化	120℃-100Gy/h-224 日間 (5,365 時間)	等価損傷簡易手法を用いて，島根 2 号炉の通常運転時周囲環境（50℃， 3.3×10^{-2} Gy/h ^{※1} ）に通電温度上昇を考慮した温度（55℃）で評価した結果，60 年間の運転期間を包絡する試験条件となる。【別紙 2 参照】
事故時放射線照射	4.9×10^5 Gy	島根 2 号炉で想定される事故時線量 3.6×10^5 Gy を包絡する。
事故時雰囲気曝露	最高温度：178℃ 最高圧力：0.854 MPa 曝露時間：168 時間	島根 2 号炉の事故時の最高温度（178℃ ^{※2} ），最高圧力（0.853 MPa ^{※2} ）を包絡する。【別紙 3 参照】

※1：原子炉格納容器内で電気ペネトレーションが設置されている区域の実測値。

原子炉格納容器内の通常運転時における実測環境温度の最大値より設定

通常運転時線量 1.8×10^4 [Gy] $\approx 3.3 \times 10^{-2}$ [Gy/h] $\times 24$ [h] $\times 365.25$ [d] $\times 60$ [y]

※2：重大事故等時における原子炉格納容器内の環境条件設計値

表 4 高耐熱電気ペネトレーションの長期健全性試験条件（設計基準事故，重大事故等）

	試験条件	説明
熱サイクル試験	10℃⇔66℃ 175 サイクル -28℃⇔66℃ 5 サイクル	島根 2 号炉の 60 年間の起動停止に伴う熱サイクル回数を包絡する。【電気・計装設備の絶縁特性低下補足説明資料添付-6 参照】
熱放射線同時劣化	130℃-100Gy/h-27 日間 (635 時間)	等価損傷簡易手法を用いて，島根 2 号炉の通常運転時間周囲環境（50℃， 3.3×10^{-2} Gy/h ^{※1} ）で評価した結果，30 年間の運転期間を包絡する試験条件となる。【別紙 2 参照】
事故時放射線照射	8.0×10^5 Gy	島根 2 号炉で想定される事故時線量 3.6×10^5 Gy を包絡する。
事故時雰囲気曝露	最高温度：240℃ 最高圧力：0.854 MPa 曝露時間：13 日間	島根 2 号炉の事故時の最高温度（178℃ ^{※2} ），最高圧力（0.853 MPa ^{※2} ）を包絡する。【別紙 3 参照】

※1：原子炉格納容器内で電気ペネトレーションが設置されている区域の実測値。

原子炉格納容器内の通常運転時における実測環境温度の最大値より設定

通常運転時線量 0.9×10^4 [Gy] $\approx 3.3 \times 10^{-2}$ [Gy/h] $\times 24$ [h] $\times 365.25$ [d] $\times 30$ [y]

※2：重大事故等時における原子炉格納容器内の環境条件設計値

c. 評価結果

長期健全性試験の結果、低圧用および高圧用電気ペネトレーションについては、島根2号炉の60年間の運転期間を想定した劣化条件および事故時環境条件を包絡し、判定基準を満足していることを確認し、高耐熱電気ペネトレーションについては、島根2号炉の30年間の運転期間を想定した劣化条件および事故時環境条件を包絡し、判定基準を満足していることを確認した。

低圧用電気ペネトレーションの長期健全性試験結果を表5に、高圧用電気ペネトレーションの長期健全性試験結果を表6に、高耐熱電気ペネトレーションの長期健全性試験結果を表7に示す。

表5 低圧用電気ペネトレーションの長期健全性試験結果
(設計基準事故, 重大事故等)

試験内容	測定値 (試験前)	測定値 (試験後)	判定基準※	結果
リーク量測定	1.1×10^{-9} Pa・m ³ /s 以下	1.1×10^{-5} Pa・m ³ /s 以下	1.0×10^{-4} Pa・m ³ /s 以下	良

※：判定基準は IEEE Std. 317 (1976. 1983) に基づく

表6 高圧用電気ペネトレーションの長期健全性試験結果
(設計基準事故, 重大事故等)

試験内容	測定値 (試験前)	測定値 (試験後)	判定基準※	結果
リーク量測定	1.0×10^{-11} Pa・m ³ /s 以下	3.6×10^{-5} Pa・m ³ /s 以下	1.0×10^{-4} Pa・m ³ /s 以下	良

※：判定基準は IEEE Std. 317 (1976. 1983) に基づく

表7 高耐熱電気ペネトレーションの長期健全性試験結果
(設計基準事故, 重大事故等)

試験内容	測定値 (試験前)	測定値 (試験後)	判定基準※	結果
リーク量測定	1.1×10^{-9} Pa・m ³ /s 以下	3.8×10^{-9} Pa・m ³ /s 以下	1.0×10^{-4} Pa・m ³ /s 以下	良

※：判定基準は IEEE Std. 317 (1983) に基づく

低圧用および高圧用電気ペネトレーションは、60年間の通常運転期間、事故時雰囲気において気密性は維持できると評価する。

また、高耐熱電気ペネトレーションは、30年間の通常運転期間を想定した劣化条件および事故時環境条件を包括し、判定基準を満足しており、運転開始後34年目に設置予定であることから、60年間の通常運転および事故時雰囲気において気密性を維持できるものと評価できる。

(2) 現状保全

低圧用，高圧用電気ペネトレーションの気密性の低下に対しては，定期検査時に原子炉格納容器漏えい率検査を実施し，原子炉格納容器全体の漏えい率が基準を満たし，漏えい率が増加傾向に無いことを確認している。

高耐熱電気ペネトレーションの気密性の低下に対しては，定期事業者検査時に原子炉格納容器漏えい率検査を実施し，原子炉格納容器全体の漏えい率が基準を満たし，漏えい率が増加傾向に無いことを確認することとしている。

なお，定期検査時の原子炉格納容器漏えい率検査において，局部漏えい試験として漏えいの可能性がある箇所（シール部，貫通部，隔離弁）に対して漏えいの有無を確認し，合格後に原子炉格納容器全体の漏えい試験を実施することとしている。その際に電気ペネトレーションに有意な気密性の低下が認められた場合には，必要により取替え等を行うこととしている。

(3) 総合評価

健全性評価結果および現状保全より，運転開始から 60 年間の通常運転および事故時雰囲気において気密性能を維持できると判断する。

(4) 高経年化への対応

高経年化対策の観点から現状の保全内容に追加すべき項目はない。引き続き，現状保全を継続していく。

5. まとめ

(1) 審査ガイド等記載事項に対する確認結果

「2. 基本方針」で示した審査ガイド等記載事項に対して、高経年化技術評価を適切に実施していることを確認した。

6 事象以外の劣化事象についての審査ガイド等記載事項との対比を表 8 に示す。

(2) 施設管理に関する方針として策定する事項

電気ペネトレーションの施設管理に関する方針として策定する事項はない。

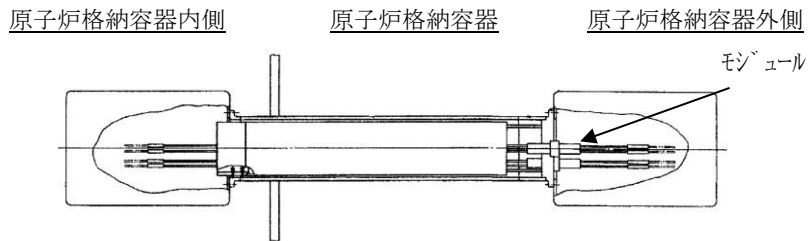
表 8 (1/2) 6 事象以外の劣化事象についての審査ガイド等記載事項との対比

ガイド	記載事項	技術評価結果
実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド	<p>3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点</p> <p>(1) 高経年化技術評価の審査</p> <p>⑫健全性の評価 実施ガイド 3.1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。</p> <p>⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。</p> <p>⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。</p> <p>(2) 長期施設管理方針の審査</p> <p>①長期施設管理方針の策定 すべての追加保全策について長期施設管理方針として策定されているかを審査する。</p>	<p>「4. (1)」の「低圧用、高圧用および高耐熱電気ペネトレーションの健全性評価」に示すとおり、低圧用、高圧用および高耐熱電気ペネトレーションについて健全性評価を実施した。</p> <p>「4. (2)」の「現状保全」に示すとおり、現状保全の評価結果から、現状の保全策が妥当であることを確認した。</p> <p>「4. (4)」の「高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべき新たな保全策はなかった。</p> <p>「4. (4)」の「高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはなく、施設管理に関する方針として策定する事項はなかった。</p>

表 8 (2/2) 6 事象以外の劣化事象についての記載ガイド等記載事項との対比

ガイド	記載事項	技術評価結果
<p>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</p>	<p>3.1 高経年化技術評価の実施及び見直し</p> <p>⑤抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の施設管理に追加すべき保全策（以下「追加保全策」という。）を抽出すること。</p> <p>イ 実用炉規則第 82 条第 1 項の規定に基づく高経年化技術評価プラントの運転を開始した日から 60 年間</p> <p>3.2 長期施設管理方針の策定及び変更</p> <p>長期施設管理方針の策定及び変更に当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>①高経年化技術評価の結果抽出されたすべての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、施設管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期施設管理方針を策定すること。</p> <p>なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期施設管理方針を策定すること。</p> <p>ただし、冷温停止が維持されることを前提とした高経年化技術評価のみを行う場合はその限りでない。</p>	<p>「4. (4)」の「高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべき新たな保全策はなかった。</p> <p>「4. (4)」の「高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものではなく、施設管理に関する方針として策定する事項はなかった。</p>

低圧用，高圧用および高耐熱電気ペネトレーションの構造について
低圧用電気ペネトレーション構造



モジュール部拡大図

低圧用電気ペネトレーションの主要部位の使用材料

No.	部 位	材 料
①	同軸ケーブル／電線	銅，絶縁物（難燃架橋ポリエチレン）
②	気密同軸導体／導体	銅
③	接続子	銅，銅合金，クロメル，コンスタンタン，アルメル
④	シール材	エポキシ樹脂
⑤	モジュールボディ	ステンレス鋼（SUS304TP）
⑥	Oリング	エチレンプロピレンゴム

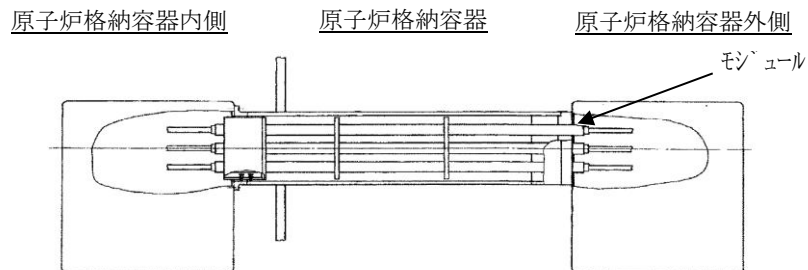
低圧用電気ペネトレーションの使用条件

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
設置場所	原子炉格納容器内（電気ペネトレーション付近）		
周囲温度	50℃（最高）※ ¹	171℃（最高）	178℃（最高）※ ²
放射線	3.3×10^{-2} Gy/h ※ ¹	1.9×10^4 Gy （最大積算値）	3.6×10^5 Gy※ ² （最大積算値）
最高圧力	0.014 MPa	0.427 MPa	0.853 MPa※ ²

※¹：原子炉格納容器内で電気ペネトレーションが設置されている区域の実測値

※²：絶縁特性低下に対する使用条件については、動作要求期間が重大事故等時初期にしかないことを考慮し設定しているが、気密性低下に対する使用条件については重大事故等時期間を通じて気密性を維持する必要があるため、同じ機器に対する評価であるが絶縁特性低下に対する使用条件とは異なる使用条件を設定している。

高压用電気ペネトレーション構造



モジュール部拡大図

高压用電気ペネトレーションの主要部位の使用材料

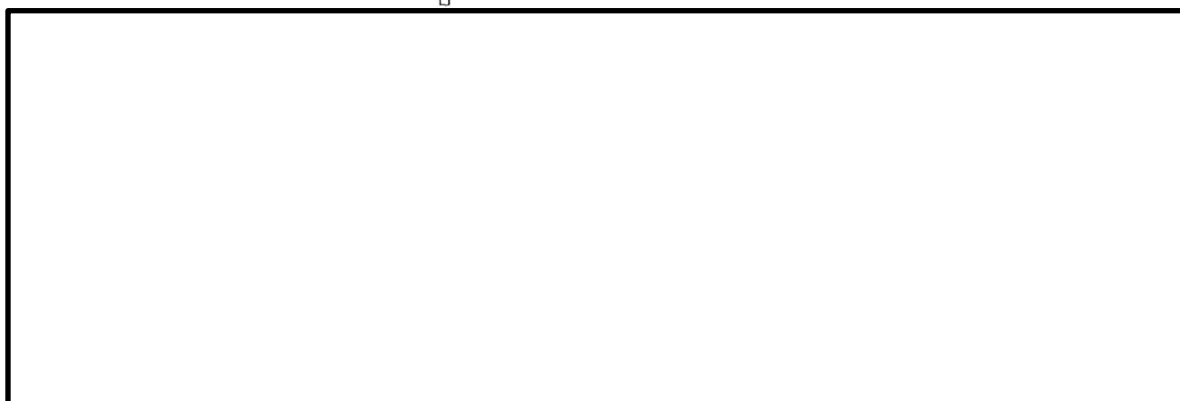
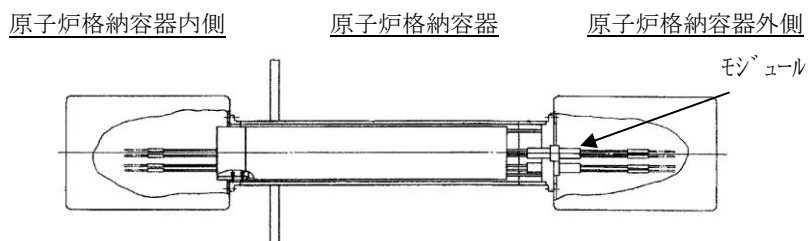
No.	部 位	材 料
①	電線	銅, 絶縁物 (エチレン ^o ロビ ^o レンゴ ^o ム)
②	接続スリーブ	銅
③	シール材	エチレン ^o ロビ ^o レンゴ ^o ム
④	モジュールハウジング	ステンレス鋼 (SUS304TP)

高压用電気ペネトレーションの使用条件

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
設置場所	原子炉格納容器内 (電気ペネトレーション付近)		
周囲温度	50°C (最高) ※1	171°C (最高)	178°C (最高)
放射線	3.3×10 ⁻² Gy/h ※1	1.9×10 ⁴ Gy (最大積算値)	3.6×10 ⁵ Gy (最大積算値)
最高圧力	0.014 MPa	0.427 MPa	0.853 MPa

※1: 原子炉格納容器内で電気ペネトレーションが設置されている区域の実測値

高耐熱電気ペネトレーション構造



モジュール部拡大図

高耐熱電気ペネトレーションの主要部位の使用材料

No.	部 位	材 料
①	モジュールボディ	ステンレス鋼 (SUS304TP)
②	モジュールスリーブ	ステンレス鋼 (SUS304TP)
③	Oリング	EPDM
④	電線	銅, 絶縁物 (フッ素樹脂混和物)
⑤	導体	銅, クロメル, アルメル他
⑥	接続子	銅, クロメル, アルメル他
⑦	シール材	エポキシ樹脂

高耐熱電気ペネトレーションの使用条件

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
設置場所	原子炉格納容器内 (電気ペネトレーション付近)		
周囲温度	50°C (最高) ※1	171°C (最高)	178°C (最高)
放射線	3.3×10^{-2} Gy/h ※1	1.9×10^4 Gy (最大積算値)	3.6×10^5 Gy (最大積算値)
最高圧力	0.014 MPa	0.427 MPa	0.853 MPa

※1: 原子炉格納容器内で電気ペネトレーションが設置されている区域の実測値

タイトル	低圧用，高圧用および高耐熱電気ペネトレーションの長期健全性試験における評価期間について
説明	<p>低圧用，高圧用および高耐熱電気ペネトレーションのシール材ならびに低圧用および高耐熱電気ペネトレーションの O リング部の加速熱劣化における実環境年数の算定は，シール材および O リングの活性化エネルギー値を用いて，等価損傷簡易手法により算出している。</p> <p>島根 2 号炉に設置されている低圧用および高圧用電気ペネトレーションは 60 年の運転を想定した期間を包絡しており，高耐熱電気ペネトレーションは 30 年の運転を想定した期間を包括している。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> $a = \frac{t_1}{t_2} \text{ とすると}$ $a = \left[\exp \left\{ \frac{E}{R} \left(\frac{1}{273+T_1} - \frac{1}{273+T_2} \right) \right\} \times \frac{D_1}{D_2} \right]^{\tan \theta} \times \left(\frac{D_2}{D_1} \right)$ <p> a : 加速倍率 t₁ : 実環境年数 t₂ : 加速時間 T₁ : 実環境温度 T₂ : 加速温度 D₁ : 実線量率 D₂ : 加速線量率 R : 気体定数 E : 活性化エネルギー θ : 等価損傷線量と線量率の傾き </p> </div> <p>【低圧用電気ペネトレーション シール材および O リング】</p> <p> t₁ : 実環境年数 : 60 年以上 (時間) t₂ : 加速時間 : 731 時間 T₁ : 実環境温度 : 323 K (=50 °C) T₂ : 加速温度 : 373 K (=100 °C) D₁ : 実線量率 : 0.01 Gy/h D₂ : 加速線量率 : 100 Gy/h R : 気体定数 : 1.9859 × 10⁻³ kcal/mol · K E : 活性化エネルギー^{※1} : kcal/mol (エポキシ樹脂/メーカー提示値^{※2}) </p> <p>tan θ : 0.5</p> <p>※1: 活性化エネルギーについてはより保守的な値であるシール材のものを使用する。</p> <p>※2: 活性化エネルギー取得試験結果のうち 115-135°C の活性化エネルギー値</p>

説 明

【高圧用電気ペネトレーション シール材】

t_1 : 実環境年数 : 60 年以上 [] 時間)

t_2 : 加速時間 : 5,365 時間

T_1 : 実環境温度 : 328 K (=55 °C) ※1

T_2 : 加速温度 : 393 K (=120 °C)

D_1 : 実線量率 : 0.033Gy/h

D_2 : 加速線量率 : 100 Gy/h

R : 気体定数 : 1.9859×10^{-3} kcal/mol · K

E : 活性化エネルギー※1 : [] kcal/mol

(エチレンプロピレンゴム/推定値※2)

$\tan \theta$: 0.5

※1: 原子炉格納容器内で電気ペネトレーションが設置されている区域
の実測値に通電電流による温度上昇 5°Cを加えた値

※2: 活性化エネルギー取得試験の結果を踏まえ試験データから推定し
た値

【高耐熱電気ペネトレーション シール材およびOリング】

t_1 : 実環境年数 : 30 年以上 [] 時間)

t_2 : 加速時間 : 635 時間

T_1 : 実環境温度 : 323 K (=50 °C)

T_2 : 加速温度 : 403 K (=130 °C)

D_1 : 実線量率 : 0.033Gy/h

D_2 : 加速線量率 : 100 Gy/h

R : 気体定数 : 1.9859×10^{-3} kcal/mol · K

E : 活性化エネルギー※1 : [] kcal/mol

(エポキシ樹脂/メーカー提示値)

$\tan \theta$: 0.5

※1: 活性化エネルギーについてはより保守的な値であるシール材の
ものを使用する。

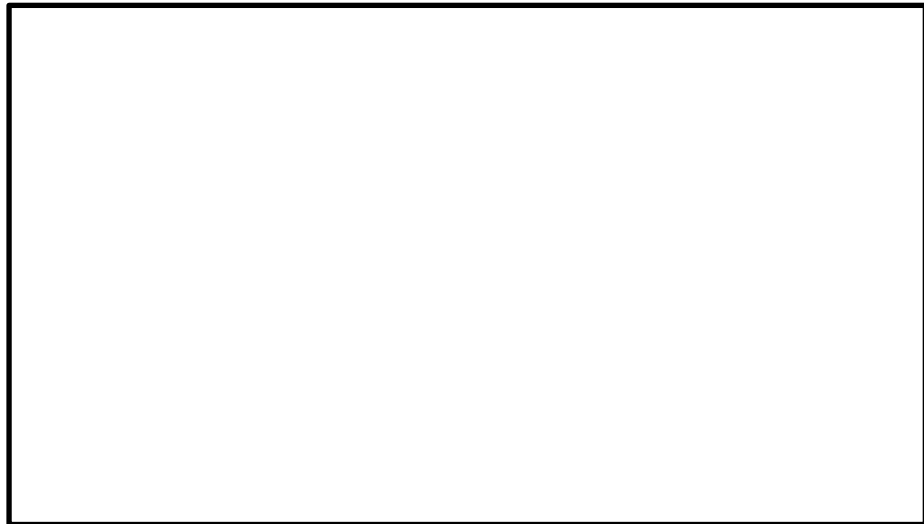
以 上

タイトル	低圧用，高圧用および高耐熱電気ペネトレーションの長期健全性試験の事故時条件の包絡性について																																		
説明	<p>長期健全性試験における事故時雰囲気曝露試験条件と事故時条件を比較した結果を示す。</p> <p>事故時雰囲気曝露試験条件は，事故時条件を包絡している。</p> <p>【低圧用電気ペネトレーション シール材およびOリング】</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 20%;">条件</th> <th style="width: 20%;">94℃換算時間</th> <th style="width: 30%;">合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">事故時雰囲気曝露試験条件</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1,845 時間</td> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">14,977 時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">3,816 時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2,258 時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">7,028 時間</td> </tr> <tr> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">設計基準事故時条件*1</td> <td></td> <td style="text-align: center;">367 時間</td> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">3,077 時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">205 時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">129 時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2,376 時間</td> </tr> <tr> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">重大事故等時条件*2</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1,845 時間</td> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">14,977 時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">3,816 時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2,258 時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">7,028 時間</td> </tr> </tbody> </table> <p>活性化エネルギー※3 kcal/mol (エポキシ樹脂/メーカー提示値)</p> <p>※1：設計基準事故時における原子炉格納容器内の環境条件設計値 ※2：重大事故等時における原子炉格納容器内の環境条件設計値 ※3：活性化エネルギーについてはより保守的な値であるシール材のものを使用する。</p>		条件	94℃換算時間	合計	事故時雰囲気曝露試験条件		1,845 時間	14,977 時間		3,816 時間		2,258 時間		7,028 時間	設計基準事故時条件*1		367 時間	3,077 時間		205 時間		129 時間		2,376 時間	重大事故等時条件*2		1,845 時間	14,977 時間		3,816 時間		2,258 時間		7,028 時間
	条件	94℃換算時間	合計																																
事故時雰囲気曝露試験条件		1,845 時間	14,977 時間																																
		3,816 時間																																	
		2,258 時間																																	
		7,028 時間																																	
設計基準事故時条件*1		367 時間	3,077 時間																																
		205 時間																																	
		129 時間																																	
		2,376 時間																																	
重大事故等時条件*2		1,845 時間	14,977 時間																																
		3,816 時間																																	
		2,258 時間																																	
		7,028 時間																																	

説 明

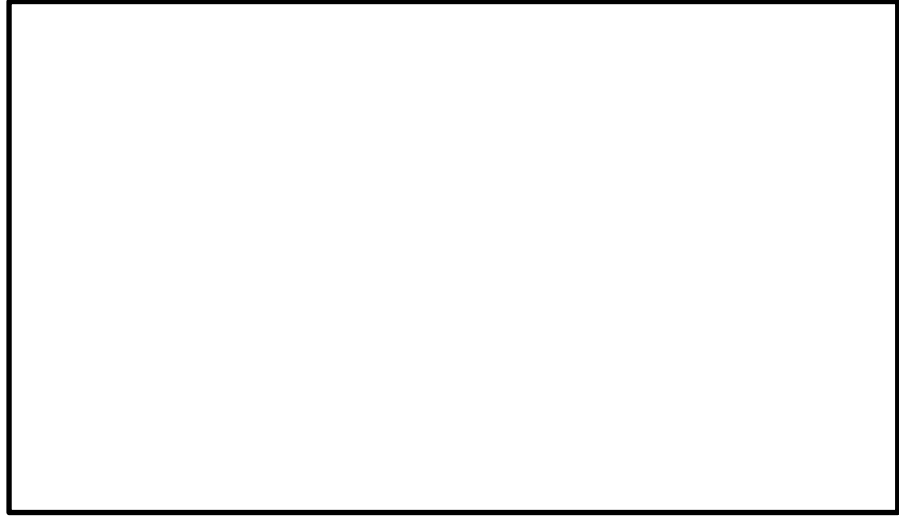


島根 2 号炉 原子炉格納容器内設計基準事故時条件



島根 2 号炉 原子炉格納容器内（電気ペネトレーション部）
重大事故等時条件

説 明



低圧用電気ペネトレーション 事故時雰囲気曝露試験条件

説 明

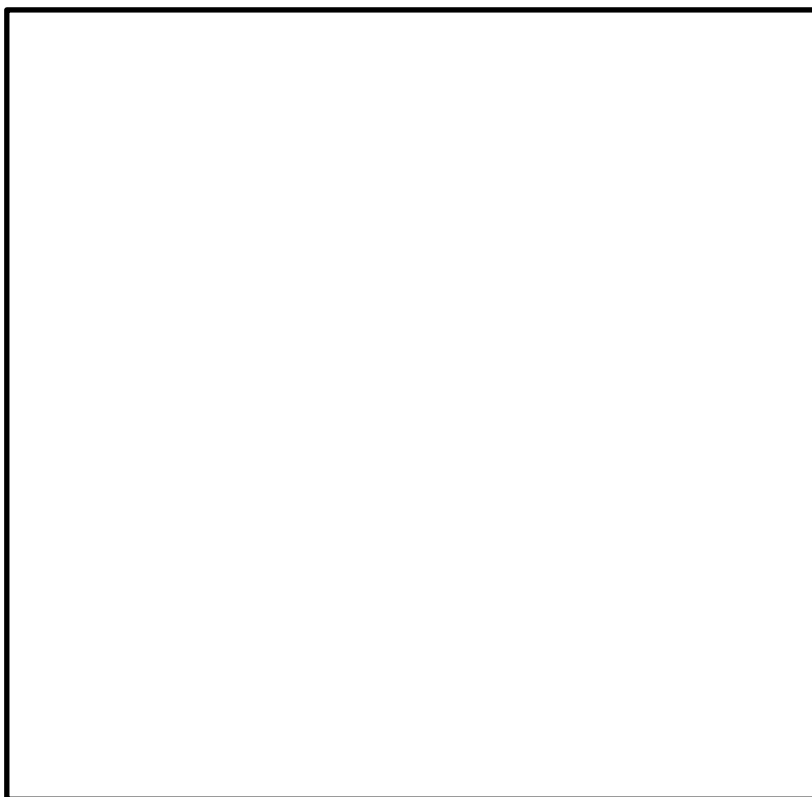
【高圧用電気ペネトレーション シール材】

	条件	94℃換算時間	合計
事故時雰囲気 曝露試験条件		2,107 時間	16,887 時間
		4,332 時間	
		2,592 時間	
		7,856 時間	
設計基準 事故時条件 ^{※1}		417 時間	3,159 時間
		230 時間	
		136 時間	
		2,376 時間	
重大事故等時 条件 ^{※2}		2,107 時間	16,887 時間
		4,332 時間	
		2,592 時間	
		7,856 時間	

活性化エネルギー： kcal/mol (エチレンプロピレンゴム/推定値)

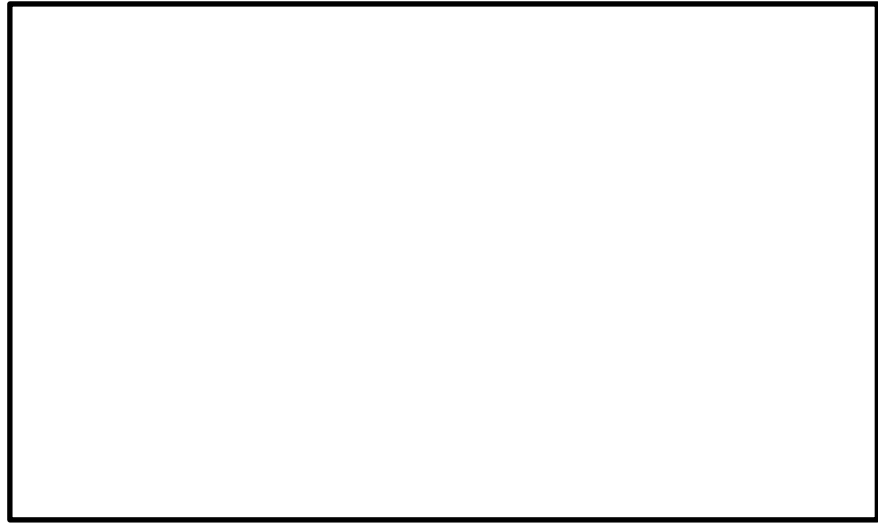
※1：設計基準事故時における原子炉格納容器内の環境条件設計値

※2：重大事故等時における原子炉格納容器内の環境条件設計値



島根 2 号炉 原子炉格納容器内設計基準事故時条件

説 明



島根 2 号炉 原子炉格納容器内（電気ペネトレーション部）
重大事故等時条件



高圧用電気ペネトレーション 事故時雰囲気曝露試験条件

説 明

【高耐熱電気ペネトレーション シール材およびOリング】

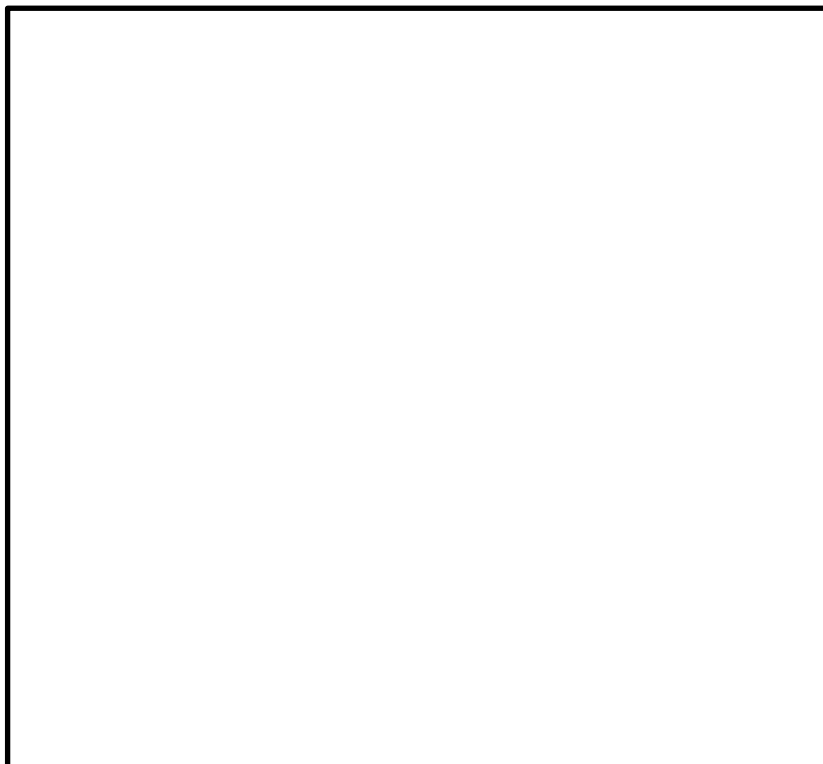
	条件	94℃換算時間	合計
事故時雰囲気 曝露試験条件		404 時間	79,395 時間
		78,050 時間	
		941 時間	
設計基準 事故時条件*1		348 時間	3,046 時間
		196 時間	
		126 時間	
		2,376 時間	
重大事故等時 条件*2		1,754 時間	14,259 時間
		3,633 時間	
		2,141 時間	
		6,731 時間	

活性化エネルギー： kcal/mol (エポキシ樹脂/メーカー提示値)

※1：設計基準事故時における原子炉格納容器内の環境条件設計値

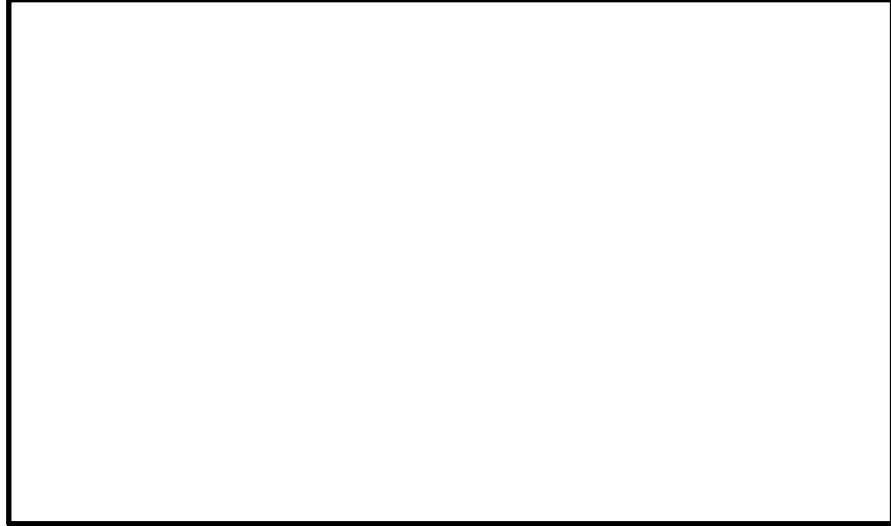
※2：重大事故等時における原子炉格納容器内の環境条件設計値

※3：活性化エネルギーについてはより保守的な値であるシール材のものを使用する。



島根 2 号炉 原子炉格納容器内設計基準事故時条件

説 明

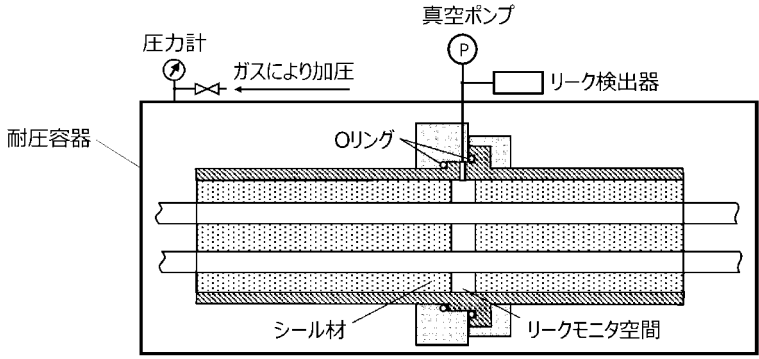


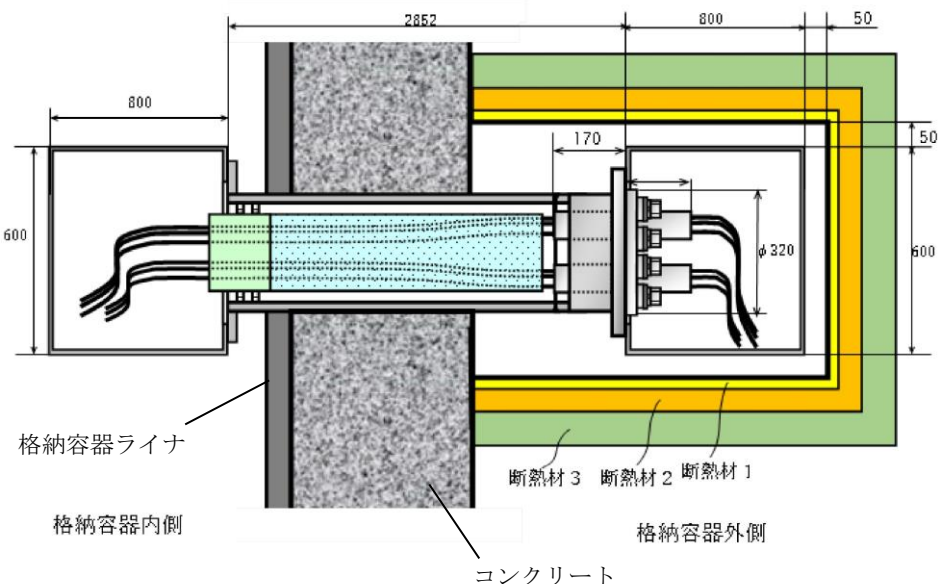
島根 2 号炉 原子炉格納容器内（電気ペネトレーション部）
重大事故等時条件



高耐熱電気ペネトレーション 事故時雰囲気曝露試験条件

以 上

<p>タイトル</p>	<p>モジュール型核計装用電気ペネトレーションの気密性低下事象に対する試験について</p>
<p>説明</p>	<p>モジュール型核計装用電気ペネトレーションの気密性低下事象に対する試験においては、下図の試験装置を用いてリーク量測定試験を実施しており、Oリングおよびシール材に対する試験を実施している。</p>  <p style="text-align: center;">リーク量測定試験装置概略図</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>

<p>タイトル</p>	<p>電気ペネトレーションの事故時条件について</p>
<p>説明</p>	<p>電気ペネトレーションの重大事故等時の最高使用温度は温度解析の結果に基づき 178℃としている。 温度解析の詳細は以下のとおりである。</p> <p>【解析モデルおよび解析コード】</p> <ul style="list-style-type: none"> 解析モデルは格納容器ライナとコンクリートが密着した構造としており、接続箱に断熱材を含めてモデル化したものを解析モデル1、接続箱のみ（断熱材を含まない）をモデル化したものを解析モデル2とし、計2種類のモデルとした。 解析コードは「ANSYS コード」を使用した。  <p>解析モデル1（断熱材含む）の構造</p>

【物性値】

・解析には下表に示す物性値を使用した。

材質	熱伝導率 [W/mK]	比熱 [J/kgK]	密度 [kg/m ³]	表面放散熱抵抗 [°Ccm ² /W]
Cu	381 ^{※1}	386 ^{※2}	8880 ^{※2}	—
PE	0.222 ^{※1}	2300 ^{※2}	920 ^{※2}	—
エポキシ・プラスチック	0.5 ^{※1}	1100 ^{※2}	1850 ^{※2}	—
SUS	16 ^{※1}	499 ^{※2}	7920 ^{※2}	1300 ^{※1}
空気	0.02614 ^{※1}	1007 ^{※2}	1.16 ^{※2}	—
鉄	56 ^{※1}	422 ^{※2}	7870 ^{※2}	1300 ^{※1}
コンクリート	1 ^{※1}	1630 ^{※2}	2280 ^{※2}	1000 ^{※1}
断熱材 1	0.023 ^{※3}	1000 ^{※4}	200 ^{※4}	1300 ^{※5}
断熱材 2	0.23 ^{※6}	818 ^{※4}	480 ^{※4}	1300 ^{※5}
断熱材 3	0.07 ^{※7}	804 ^{※4}	130 ^{※4}	1300 ^{※5}

※1 出典 日本電線工業会規格 168

※2 出典 理科年表

※3 温度条件 100°Cにおける値 出典 断熱材メーカー技術資料

※4 出典 断熱材メーカー技術資料

※5 各断熱材の表面放散熱抵抗が不明なため、保守的な値として日本電線工業会規格の記載値の最大値を設定する。

※6 室温における実測値 出典 断熱材メーカー技術資料

※7 温度条件 400°Cにおける値 出典 断熱材メーカー技術資料

【温度条件】

・温度解析条件を下表およびプロファイルに示す。

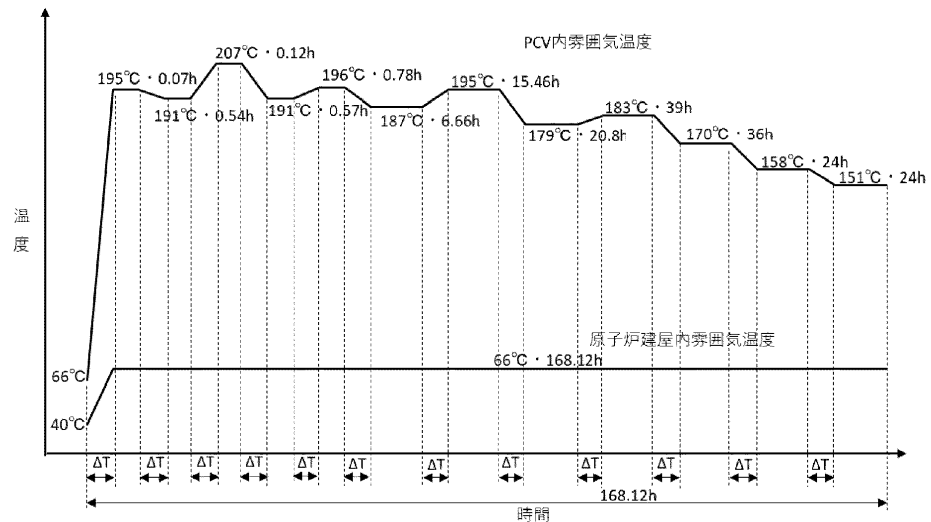
・解析初期に使用する PCV 内雰囲気温度は通常運転時温度から 66°Cとした。
同様に解析初期に使用する原子炉建物内雰囲気温度条件も通常運転時温度から 40°Cとした。

重大事故等時温度解析条件

時刻[h]	0.00	0.01	0.08	0.09	0.63	0.64	0.76	0.77	1.34
PCV内雰囲気温度[°C]	66	195	195	191	191	207	207	191	191
原子炉建物内雰囲気温度[°C]	40	66	66	66	66	66	66	66	66

時刻[h]	1.35	2.13	2.14	8.8	8.81	24.27	24.28	45.08
PCV内雰囲気温度[°C]	196	196	187	187	195	195	179	179
原子炉建物内雰囲気温度[°C]	66	66	66	66	66	66	66	66

時刻[h]	45.09	84.09	84.1	120.1	120.11	144.11	144.12	168.12
PCV内雰囲気温度[°C]	183	183	170	170	158	158	151	151
原子炉建物内雰囲気温度[°C]	66	66	66	66	66	66	66	66



重大事故等時 温度解析条件プロファイル

【解析結果】

上記の条件で温度分布解析を行った結果は以下のとおりである。

評価位置	断熱材無し	断熱材有り
ケーブル部※	142.30	142.34
シール部※	71.24	73.36

※：低圧用電気ペネトレーションにおけるケーブル部、シール部

上表の温度解析結果は、低圧用電気ペネトレーションの温度解析結果であるが、評価対象として核計装用電気ペネトレーションおよび高圧用電気ペネトレーションがあり、保守的な温度条件となるのは高圧用電気ペネトレーションであるため、高圧用電気ペネトレーションについて上記の温度解析結果にマージンとして、試験結果との誤差、ペネスリーブ長さに基づく解析誤差および規格準拠のマージンを考慮し、試験温度条件を算出した。

解析結果 [°C]	試験結果との誤差※1	ペネスリーブ長さに基づく解析誤差※2	規格準拠のマージン※3	試験温度条件
142.4	4.3	4.2	8	158.9 以上

※1：定常解析は非定常解析の時間を長く解析した状態であるため、同じ条件を用いた場合、非定常解析で生じる誤差は定常解析における最大の誤差以下の値となるため、定常解析結果と過去の試験結果の誤差の最大値を基に設定した。過去の試験では接続箱内側からスリーブにかけて、試験時には対流による熱伝達が生じることから、試験結果と解析結果の誤差には対流による熱伝達での誤差が含まれた値である。

※2：試験時に解析誤差を加えることで保守的な試験となるように設定した。

※3：IEEE-317 を準用し、規格上のマージンとして 8°C を設定した。

電気ペネトレーション部の重大事故等時の最高使用温度については上記の試験温度条件から 178°C とした。

以上