

京都大学原子炉施設保安規定の 変更申請について

京都大学複合原子力科学研究所

2023年9月 * * 日

保安規定変更申請の概要

- 申請概要

- 京都大学原子炉施設保安規定（以下、「保安規定」という）に、研究炉（KUR）、臨界実験装置（KUCA）の長期施設管理方針を追加する。
- 炉規則の改正に伴う文言を変更する。
- 記載の適正化を行う（語句の変更、句点の変更、建物の追加・廃止に伴う図面の変更）

京都大学研究用原子炉 (KUR) 高経年化に関する評価に基づく 長期施設管理方針の策定について

(核物質防護上の理由により、
一部マスキング)

KURの概要 (主要仕様等)

型式	濃縮ウラン軽水減速冷却 水泳プール系タンク型
初臨界年月日	1964年6月25日
最大熱出力	5,000kW (5MW)
積算熱出力	3.24×10^5 (MWh) (2023年3月まで)
炉心の形状・大きさ	直方体、約51cm×約51cm、高さ約61cm
燃料	低濃縮ウラン・シリサイド板状燃料(MTR型) 燃料芯材：ウランシリサイド・アルミニウム分散型燃料 ^{235}U 濃縮度約■wt%、U濃度：約■g/cm ³
冷却材	軽水
制御棒	ホウ素入りステンレス鋼
運転形態	週運転、53時間／週
主要実験設備	重水熱中性子設備、黒鉛設備 放射孔4本、照射孔4本、貫通孔1本 圧気輸送管3本、水圧輸送管1本 傾斜照射孔1本

KURの概要（安全機能上の特徴）

- 停止: 4本の粗調整用制御棒の挿入により停止
スクラム時は0.6秒で全挿入（自由落下）
スクラムに至らない条件で一せい挿入（電動駆動による挿入）
- 冷却: 炉停止後の崩壊熱は自然循環により除熱
LOCA時の緊急注水系として、サブパイルルーム汲み上げポンプ、高架水槽、SFプール水汲み上げポンプ
BDBA対応として
可搬型消防ポンプ、40トン水タンク
- 閉じ込め: 炉室換気系の水封槽による閉じ込め
非常用排気系による排気（ヨウ素除去機能有）

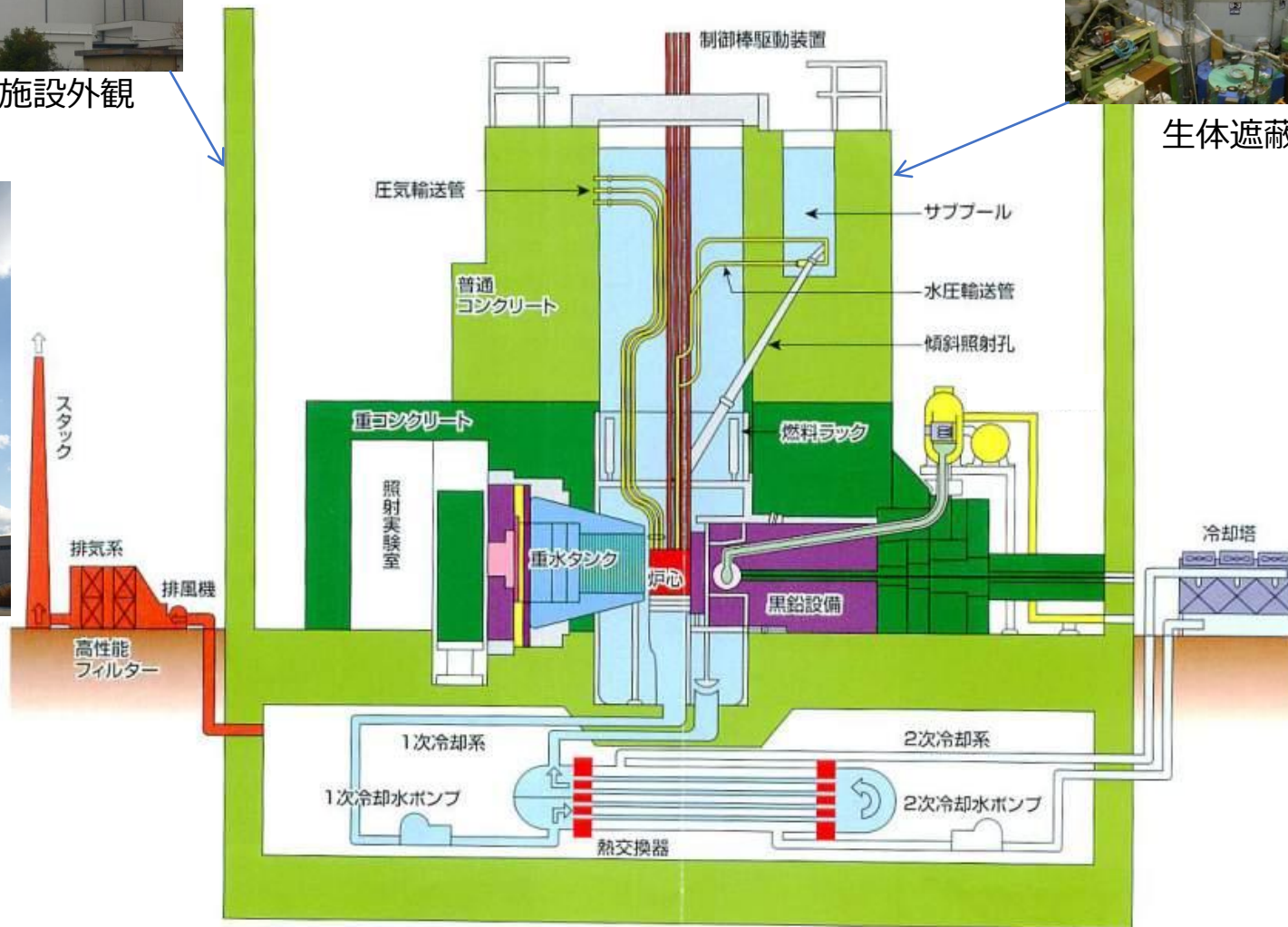
KUR: 全体構造



原子炉格納施設外観

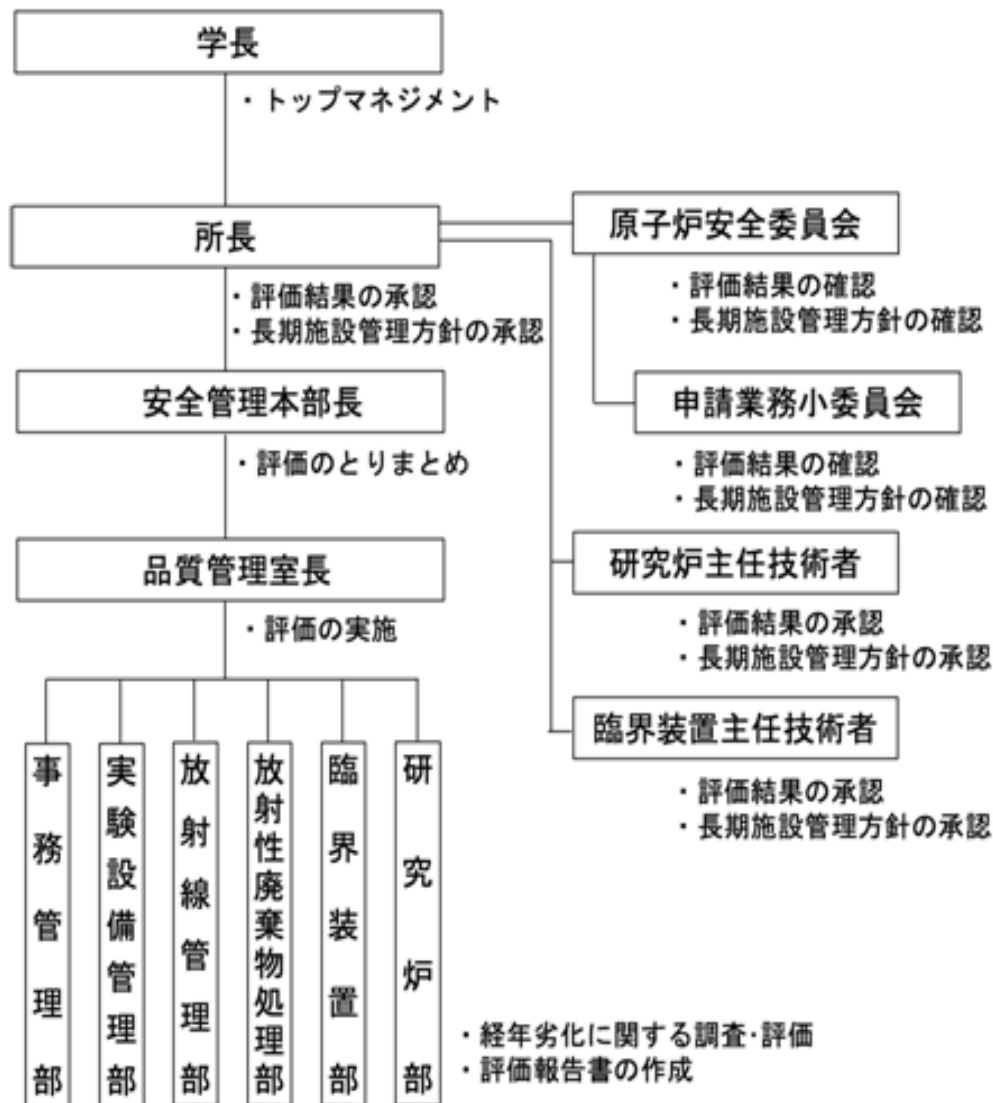


生体遮蔽外観

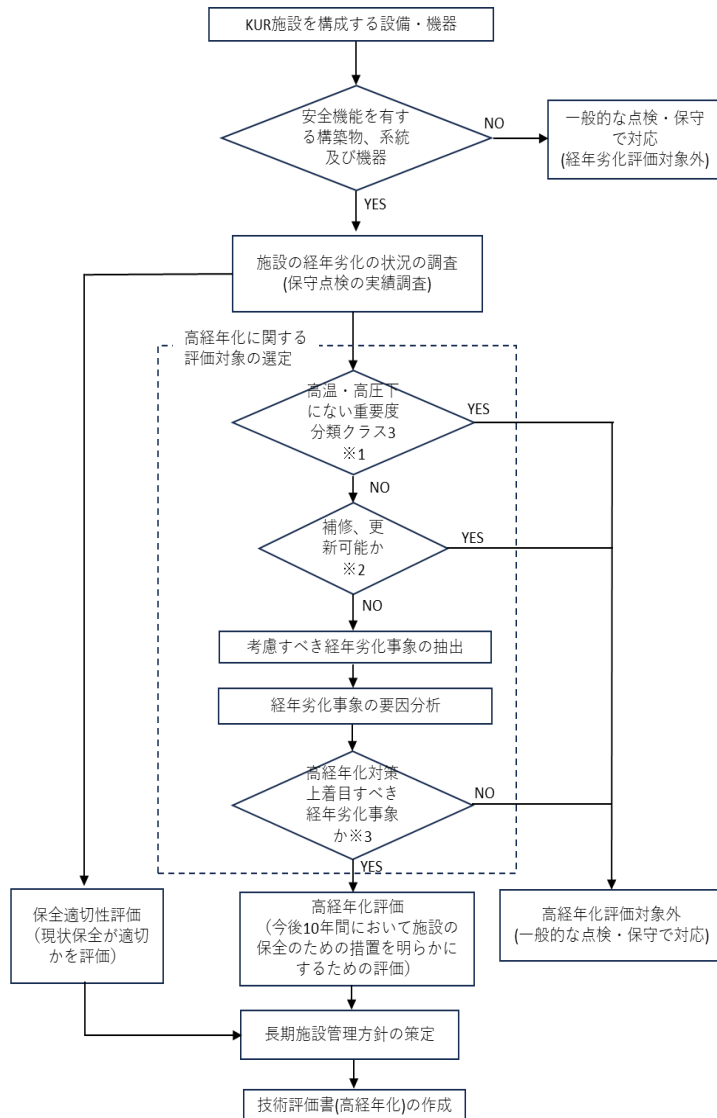


スタック外観

経年劣化に関する評価の実施体制



経年劣化に関する評価フロー



1. 保守点検の実績調査及び評価

今後のKURの安全確保のための長期施設管理方針に反映するため、安全機能を有する構築物、系統及び機器について、左に示す実施フローにしたがって経年劣化に関する技術的な調査及び評価を実施

2. 高経年化評価

○ 安全上の機能別重要度分類のクラス2及び3

(KURではクラス1に該当するものはなし)の設備・機器のうち、KURの特性から以下の点を考慮して対象となる設備・機器を選定

① KURの設備・機器は、高温高圧の環境下にはないため、重要度分類クラス3の機器は高経年化に関する評価の対象外とする。

② 通常の施設管理活動(点検、検査等)において、経年劣化の状況が把握でき、必要に応じ補修が可能で、また更新が必要な場合に更新が可能な設備・機器(定期取替品及び消耗品を含む)については高経年化に関する評価の対象外とする。

○ 経年劣化事象の抽出

選定した設備・機器に対して想定される経年劣化事象を「**实用発電用原子炉施設における高経年化対策ガイド**」(2020年3月31日)に示された経年劣化事象の項目を参考に抽出した。さらに、KURの特徴を踏まえた経年劣化事象を抽出した。

○ 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の選定

抽出した経年劣化事象のうち、定期的な検査等で経年劣化の進展がないことを確認することが困難な事象を高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として選定する。

※1: KUR施設を構成する設備・機器は、高温高圧の環境下にはないため重要度分類クラス3の機器は高経年化に関する評価の対象外とする。
 ※2: 通常の施設管理活動(点検、検査等)において、経年劣化の状況が把握できており、必要に応じて補修や更新が可能な設備・機器(定期取替品及び消耗品を含む)については高経年化に関する評価の対象外とする。
 ※3: 定期的な検査等で経年劣化の進展などの異常がないことを確認することでその発生可能性を確認できる場合は高経年化に関する評価の対象外とする。

1. 保守点検の実績調査（経年劣化の状況の調査）及び評価

- 安全機能を有する構築物、系統及び機器について、通常 of 施設管理活動として行われてきた保守、点検、交換等の調査を実施し、経年変化の状況を把握
- 対象期間は2013年12月1日から2023年11月30日までに実施された、あるいはされる予定の点検等の実績を調査し、保全内容が適切なものかを評価

重要度クラス	構築物、系統及び機器	調査結果
PS-2	炉心部・格子板	年ごとの点検等で健全性を確認。
	炉心タンク	年ごとの点検等で健全性を確認。 炉心タンクのほぼ全域について超音波による厚み測定を1991年、1999年、2006年、2022年に実施し、建設当時から特に腐食や減肉が進んでいないことを確認。
	燃料要素（標準燃料要素、特殊燃料要素）	炉心への挿入前及び取出し時及び年ごとの外観検査を実施しており、健全性を確認。
MS-2	粗調整用制御棒	年ごとの点検等により機能検査、作動検査で健全性を確認。
	中性子吸収材	非常用制御設備（中性子吸収材）であるホウ酸について、点検等により健全性を確認。
	サブパイルルーム漏えい水汲み上げ設備	月ごとの作動確認、年ごとの点検等で健全性を確認。サブパイルルーム漏えい水汲み上げポンプの機能検査は5年ごとに実施し、炉心タンクへの注水ラインの健全性を確認。
	水圧駆動弁、逆止弁	年ごとの漏えい検査、作動検査で健全性を確認。10年に1度の頻度で分解点検を実施。水圧駆動弁、逆止弁の分解点検は直近では2022年に実施し健全性を確認。
	炉心タンク	年ごとの点検等で健全性を確認。 炉心タンクのほぼ全域について超音波による厚み測定を1991年、1999年、2006年、2022年に実施し、建設当時から特に腐食や減肉が進んでいないことを確認。
	非常用排気系統・操作回路	月ごとの点検等において動作確認を実施し、年ごとの作動検査によって健全性を確認。
	排気口（スタック、煙道）	年ごとの点検等において健全性を確認。スタックは2013年9月に設工認申請の承認を受け、鉄骨構造に更新して2014年2月に使用前検査合格している。

重要度クラス	構築物、系統及び機器	調査結果
MS-2（続き）	水封装置・操作回路	年ごとの点検等、月ごとの作動確認にて健全性を確認。
	原子炉格納施設	建屋内面のコンクリート部は、年ごとの点検等において外観検査を行い、ひび割れの進展状況などから健全性を確認。さらに詳細な健全性調査として、1999年、2009年及び2019年にコンクリートの強度試験、中性化深さや鉄筋腐食度の測定及びかぶり厚さ測定等に加え、外面鉄板の肉厚測定を実施し、健全性を確認。外面鉄板張りについても、年ごとの点検等において外観検査及び気密検査を行い、その健全性を確認。
	コンクリート遮蔽（生体遮蔽）	年ごとの点検等で外観検査にて健全性を確認。健全性調査として、1991年、1999年、及び2009年に遮蔽体のコンクリートサンプルを抜き取り、その中性化深さ測定及び強度試験を実施。2019年にもシュミットハンマーによる強度試験を実施。
	安全保護回路（原子炉停止回路）	年ごとの点検等で健全性を確認。2016年に設置変更承認申請書から削除されたスクラム条件、警報条件の回路を撤去。2016年に新規制基準への対応として多様性、多重性の確保のための改造を実施。
	サブパイルルーム漏えい水汲み上げポンプ起動回路	月ごとの作動確認、年ごとの点検等で健全性を確認。
	ディーゼル発電機、受電盤（非常電源用）	年ごとの点検等で健全性を確認。保全業者により週3回の巡視点検、受電盤（非常電源用）については週ごとの巡視点検により健全性を確認。
	蓄電池設備（計装用無停電電源）	年ごとの点検等で健全性を確認。2017年に新規制基準への対応として給電時間を10分から45分に更新。予防保全として2022年に同一機種への更新。
	空間線量率計（炉本体上部、1階外壁、原子炉制御室、原子炉室地下（地下イオン交換器室）、使用済燃料プール室）	年ごとの点検等、平日毎日巡視点検により健全性を確認。

重要度クラス	構築物、系統及び機器	調査結果
PS-3	1次冷却設備	<p>1次循環ポンプ：年ごとの作動検査、外観検査、漏えい検査で健全性を確認。10年に1回の頻度で分解点検を実施。2013年に分解点検を実施している。次回は2023年度に分解点検を実施予定。</p> <p>熱交換器：年ごとの作動検査、外観検査、漏えい検査で健全性を確認。3年に1回の頻度で分解点検を実施。</p> <p>配管：年ごとの外観検査、漏えい検査、配管の指定した箇所については年ごとに肉厚測定を行い、健全性を確認。2015年に開放点検と肉厚測定実施。2017年に耐震性向上のため炉心直下配管に新規サポートを設置。</p> <p>蓄電池設備（1次循環ポンプ用無停電駆動電源）：年ごとの点検等において健全性を確認。</p>
	2次冷却設備	<p>年ごとの点検等で外観検査及び漏えい検査を実施して健全性を確認。</p> <p>2次循環ポンプ：10年に1回の頻度で点検整備を実施。直近では2022年に実施している。</p>
	使用済燃料プール室プール	<p>年ごとの漏えい検査で健全性を確認。2014年及び2022年には水を抜いて外観検査を行い、健全性を確認。</p>
	燃料貯蔵用ラック	<p>年ごとの点検等で健全性を確認。</p>
	使用済燃料室プール	<p>溶接箇所からの漏えいが外部から監視できる設計となっており、週ごとの巡視点検及び年ごとの点検等において漏えいがないことを確認。</p>
	浄化設備（1次浄化系含む）	<p>年ごとの漏えい検査、外観検査、作動検査で健全性を確認。ポンプについては10年に1回の頻度で分解点検を実施しており前回は2021年に実施。</p>
	中放射性廃液貯留槽・弱放射性廃液貯留槽	<p>年ごとの点検等で健全性を確認。</p>
	タンク車タンク	<p>年ごとの外観検査、漏えい検査で健全性を確認。10年ごとにタンク車タンクの開放点検を実施。</p>

重要度クラス	構築物、系統及び機器	調査結果
PS-3 (続き)	放射性廃水排水管	2014年に更新した後は、年ごとの点検等で漏えいが無いことを確認。
	第1固形廃棄物倉庫	年ごとの点検等で健全性を確認。2017年に新規規制基準対応として耐震壁の追加と竜巻対策として固縛装置を設置。
	第2固形廃棄物倉庫	2018年に新設しており、以降は月ごとの巡視点検と年ごとの点検等で健全性を確認。2019年に外壁の補修工事を実施。
	重水タンク	年ごとの点検等で健全性を確認。
	燃料輸送管	年ごとの点検等において作動検査を行い、健全性を確認。キャリアについては3年に1回、ボールバルブについては10年に1回の頻度で分解点検を実施。
	輸送溝 (チャンネル)	2014年及び2022年には水を抜いて外観検査を行い、健全性を確認。
	浄化設備 (1次浄化系含む)	年ごとに漏えい検査、外観検査、作動検査を行い健全性を確認。ポンプについては10年に1回の頻度で分解点検を実施。直近では2021年に実施している。
	1次循環ポンプ	年ごとの作動検査、外観検査、漏えい検査で健全性を確認。10年に1回の頻度で分解点検を実施。2013年に分解点検を実施している。次回は2023年度に分解点検を実施予定。
	制御棒駆動機構	年ごとの分解点検、作動検査、外観検査で健全性を確認。
	核計装 (起動系)	年ごとの分解点検、性能検査、部品交換、点検校正で健全性を確認。
	線型出力系統 (自動制御回路含む)	年ごとの性能検査、点検校正、作動検査で健全性を確認。
燃料被覆材	炉心への挿入前及び取出し時及び年ごとの外観検査を実施しており、健全性を確認。	

重要度クラス	構築物、系統及び機器	調査結果
MS-3	1次循環ポンプ（無停電駆動電源含む）	1次循環ポンプ：年ごとの作動検査、外観検査、漏えい検査で健全性を確認。10年に1回の頻度で分解点検を実施。2013年に分解点検を実施している。次回は2023年度に分解点検を実施予定。 蓄電池設備（1次循環ポンプ用無停電駆動電源）：年ごとの点検等で健全性を確認。
	自然循環弁	年ごとに水中カメラによる外観検査で健全性を確認。
	使用済燃料プール水汲み上げ設備	月ごとの作動確認、年ごとの点検等で健全性を確認。使用済燃料プール水汲み上げポンプの機能検査は5年ごとに実施し、炉心タンクへの注水ラインの健全性を確認。
	高架水槽補給水設備	月ごとの作動確認、年ごとの点検等で健全性を確認。高架水槽の手動弁Aの作動検査は5年ごとに実施し、炉心タンクへの注水ラインの健全性を確認。
	主閉鎖弁	年ごとの検査等で健全性を確認。2014年と2022年に分解点検を実施。
	重水ドレンタンク	年ごとの点検等で健全性を確認。
	原子炉タンク水位計、原子炉タンク液面計、	年ごとの点検校正、作動検査で健全性を確認。2017年には新規規制基準への対応として安全保護回路を構成するチャンネルの独立性確保のために系統ごとの物理的分離を行った。
	燃料貯蔵プール水位計（使用済燃料室、使用済燃料プール室）	年ごとの点検等で健全性を確認。
	非常警報設備	年ごとの点検等で健全性を確認。2023年には中央管理室の移転に伴い非常警報に係る回路を更新。
通報設備	年ごとの点検等で健全性を確認。2023年には中央管理室の移転に伴い放送設備を更新。	
消火設備	6カ月ごとの点検等で健全性を確認。	

重要度クラス	構築物、系統及び機器	調査結果
MS-3（続き）	避難通路、非常用照明	月ごとの点検等で健全性を確認。
	スクラム設備（中央管理室、原子炉室内）	年ごとの点検等で健全性を確認。 中央管理室の移転に伴い、2023年に中央管理室からの非常警報に係る回路を更新。

点検・保守、交換等が適切に実施されており、保全活動内容は妥当

2.高経年化評価

「実用発電用原子炉施設における高経年化対策ガイド」での経年劣化事象

- ・ 中性子照射脆化
- ・ 照射誘起型応力腐食割れ
- ・ コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下
- ・ 低サイクル疲労
対象とする構築物、系統及び機器は低サイクル疲労が発生するような環境下にはない。
- ・ 2相ステンレス鋼の熱時効
2相ステンレス鋼は使用していない。
- ・ 電気・計装品の絶縁低下
保守点検で対応することができ必要に応じて交換可能

KURの特徴を踏まえた経年劣化事象

- ・ 炉心タンクの穿孔
- ・ 原子炉格納施設の気密性低下
- ・ スタックの強度低下

上記いずれの経年劣化事象も劣化要因としては腐食

KURの高経年化に関する評価対象設備・機器及び考慮すべき経年劣化事象

重要度クラス	構造物、系統及び機器	高経年化評価対象	考慮すべき経年劣化事象
PS-2	炉心部・格子板	○	中性子照射脆化、照射誘起型応力腐食割れ
	炉心タンク	○	中性子照射脆化、穿孔
	燃料要素（標準燃料要素、特殊燃料要素）	対象外（*）	
MS-2	粗調整用制御棒	対象外（*）	
	中性子吸収材	対象外（*）	
	サブパイルルーム漏えい水汲み上げ設備	対象外（*）	
	水圧駆動弁、逆止弁	対象外（*）	
	炉心タンク	○	中性子照射脆化、穿孔
	排気口（スタック、煙道）	○	鉄骨の強度低下、コンクリート強度低下
	水封装置・操作回路	対象外（*）	
	原子炉格納施設	○	コンクリート強度低下、気密性低下
	コンクリート遮蔽（生体遮蔽）	○	コンクリート強度劣化及び遮蔽能力低下
	安全保護回路（原子炉停止回路）	対象外（*）	
	サブパイルルーム漏えい水汲み上げポンプ 起動回路	対象外（*）	
	ディーゼル発電機、受電盤（非常電源用）	対象外（*）	
	蓄電池設備（計装用無停電電源）	対象外（*）	
空間線量率計（主要5系統）	対象外（*）		

（*）対象外とする根拠は補修・更新可能であること

炉心部・格子板、炉心タンクの経年劣化事象

○ 中性子照射脆化

炉心に最も近い格子板表面付近での10年後の中性子フルエンス(0.1MeV以上)は 1.9×10^{21} n/cm²と推定されるが、推定される中性子フルエンス領域においてアルミニウム合金の強度への影響はほとんど見られないため経年劣化事象とはならない。

○ 照射誘起型応力腐食割れ

炉心に最も近い格子板表面付近での10年後の中性子フルエンス(0.1MeV以上)は 1.9×10^{21} n/cm²と推定され、1.3dpaに相当する。一方、格子板と下部サポートの接続部のステンレス製ボルトに対する応力は過大に見積もっても125MPaである。

文献によると、5dpaでの照射誘起型応力腐食割れの発生境界値は680MPa以上であると示されている。したがって、当該事象が発生する環境下にはないため経年劣化事象とはならない。

炉心タンクの経年劣化事象

炉心タンクはアルミニウム合金製で、穿孔という経年劣化事象になり得る要因として腐食が想定される。

炉心タンクの腐食を防止する観点から炉心タンク水を高純度に維持し、定期的を目視でタンク内面の外観を確認する日常的な管理においてタンクの健全性は維持されてきている。さらに目視では確認できないような腐食を調べるため約10年毎に炉心タンクのほぼ全域に対する超音波による厚み測定を実施してきた。

これまでのところタンクの腐食や腐食に伴う減肉のような劣化は確認されていないが、原子炉全体の供用寿命に決定的な影響を及ぼしかねない炉心タンクについては、その健全性の維持に万全を期すために、直近に行った調査から10年を超えない期間中に超音波を用いた検査を実施する必要がある。

原子炉格納施設、生体遮蔽、スタックの経年劣化事象

構造種別		コンクリート構造物				鉄骨構造物	
経年劣化事象		強度低下				遮蔽能力低下	強度低下
劣化要因		熱	放射線照射	中性化	アルカリ骨材反応	熱	腐食
代表構造物	原子炉格納施設	－	－	○	△	－	△*
	生体遮蔽	－	○	○	△	○	－
	スタック	－	－	－	－	－	△

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象とその要因

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の要因ではない

－：該当しない

*：鉄骨構造物ではなく原子炉格納施設の外壁鉄板で経年劣化事象は気密性低下

高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象について

分類		経年劣化事象	劣化要因	判断理由
原子炉格納施設	コンクリート	強度低下	アルカリ骨材反応	<ul style="list-style-type: none"> ・通常点検においてアルカリ骨材反応に起因するひび割れ等のないことを確認している。
	外壁鉄板	気密性低下	腐食	<ul style="list-style-type: none"> ・通常点検において気密性能に支障をきたす可能性のあるような鋼材の腐食は認められていない。 ・鋼材の腐食に影響する塗装の劣化等が認められた場合には塗替えを行うこととしている。
生体遮蔽	コンクリート	強度低下	アルカリ骨材反応	<ul style="list-style-type: none"> ・通常点検においてアルカリ骨材反応に起因するひび割れ等のないことを確認している。
スタック	鉄骨構造	強度低下	腐食	<ul style="list-style-type: none"> ・設置後約9年しか経過していない。 ・鋼材には亜鉛メッキが施されており、腐食の可能性は低く、通常点検において強度に支障をきたす可能性のあるような鋼材の腐食は認められていない。

コンクリートの健全性評価（1/4）

1. コンクリートの強度低下

1-1 中性化による強度低下

1-1-1 評価対象

(1) 原子炉格納施設

1) 評価点

屋内：建屋円筒壁内面

2) 選定理由

建屋円筒壁外面は気密保持のための鉄板張りのため

3) 評価手順

a. 中性化深さの推定

中性化速度式により、10年後時点の中性化深さを算出（岸谷式を使用）

b. 健全性評価結果

過去に行った健全性調査（1999年時点(設置後約38年)、2009年時点(設置後約48年)、2019年時点(設置後約58年)）における実測値及び中性化深さ予測式を用いた推定値、並びに10年後の2033年時点(設置後約72年)での推定値を表1にまとめて示す。表から今後10年が経過しても健全性は維持されることを確認した。

コンクリートの健全性評価 (2/4)

(2) 生体遮蔽

1) 評価点

屋内：生体遮蔽外面

2) 選定理由 生体遮蔽の構造上のため

3) 評価手順

a. 中性化深さの推定

中性化速度式により、10年後時点の中性化深さを算出（岸谷式を使用）

b. 健全性評価結果

過去に行った健全性調査（1999年時点(設置後約38年)、2009年時点（設置後約48年））における実測値及び中性化深さ予測式を用いた推定値、並びに10年後の2033年時点(設置後約72年)での推定値を表1にまとめて示す。表から今後10年が経過しても健全性は維持されることを確認した。

表1 中性化深さの推定値と実測値

対象施設		1999年	2009年	2019年	2033年	かぶり厚さ
原子炉格納施設	推定値[mm]	38.6	43.4	47.8	53.7	68.0
	実測値[mm]	9.3	3.4	11.7	—	
生体遮蔽	推定値[mm]	38.6	43.4	47.8	53.7	26.5
	実測値[mm]	<1.0	<1.0	—	—	

コンクリートの健全性評価 (3/4)

1-2 放射線照射による強度低下

1-2-1 評価対象

(1) 生体遮蔽

1) 評価点

生体遮蔽内面の炉心領域部

2) 選定理由

中性子、ガンマ線照射量の影響が最も大きいため

3) 評価手順

a. 放射線量率の算出

コンクリートの内面で0.1MeV以上の中性子照射量をMCNP-6 コード及びJENDL-4.0を用いて算出

b. 健全性評価結果

a) 中性子照射

- 小嶋・他(2019)の試験結果によると、 1×10^{19} n/cm²の中性子照射量($E > 0.1$ MeV)から、コンクリートの強度が低下する可能性があることを指摘。
- 10年後における中性子照射量は、一部、目安値 (1×10^{19} n/cm²) を超える部分が存在。
- 目安値を超える範囲は、深さ方向に0.61cmであり、生体遮蔽の厚さ(約2m)に比べて十分小さく、その範囲を除いた強度が地震荷重を上回っていることを確認した。

b) ガンマ線照射

- Hilsdorf・他(1978)による目安値 (2.0×10^{10} rad) を超える部分が存在。
- 目安値を超える範囲は深さ方向に1.0cmであり、生体遮蔽の厚さ(約2m)に比べて十分小さく、その範囲を除いた強度が地震荷重を上回っていることを確認した。

コンクリートの健全性評価 (4/4)

2. コンクリートの遮蔽能力低下

2-1 評価対象

生体遮蔽

2-2 健全性評価結果

遮蔽能力低下の要因は放射線照射に起因する内部発熱によるコンクリート内部の水分の逸散が想定される。KURは放射孔、照射孔等の実験設備から意図的に放射線を炉心外部に放出させており、炉心外の漏えい放射線はこれら実験設備からのものが大部分を占めており、生体遮蔽コンクリートを透過してくる放射線はごくわずかである。生体遮蔽コンクリートの経年劣化に伴う遮蔽能力の低下があったとしても、その影響は軽微である。従って、構造上の健全性が維持されていることをもって遮蔽能力も維持されているものと判断し、遮蔽能力そのものは経年劣化事象としての評価を要しないものと判断する。

コンクリートの健全性評価を行った結果、今後10年間、原子炉格納施設及び生体遮蔽のコンクリートの健全性が維持できることを確認

まとめ

- 高経年化に関する評価については、安全機能を有する構築物・系統及び機器のうち重要度分類クラス2以上のもの及び補修、更新が容易でないものについて高経年化対策上着目すべき経年劣化事象を選定して評価を行ったところ、今後10年間、安全機能を維持できることを確認した。しかしながら、原子炉全体の供用寿命に影響を及ぼしかねない最も重要な機器である炉心タンクについては、その健全性の維持を万全に期すために、直近に行った調査から10年を超えない期間中に超音波を用いた調査を実施する必要があると判断した。
- 長期施設管理方針
(始期：2023年12月1日、適用期間：10年間)
炉心タンクの腐食については、直近に行った調査から10年を超えない期間中に超音波を用いた調査の実施計画を策定する。