

高速増殖原型炉「もんじゅ」の保全の在り方

- 高速増殖炉劣化メカニズムの整理 -

Principles of MONJU Maintenance
- Ageing phenomena of FBR for maintenance-

日本原子力研究開発機構	内橋 昌也	Masaya Uchihashi	Non-Member
日本原子力研究開発機構	西尾 竜一	Ryuichi Nishio	Non-Member
日本原子力研究開発機構	仲井 悟	Satoru Nakai	Member
ウツエバルブサービス	山下 裕宣	Yamashita Hironobu	Member
日本保全学会	山口 篤憲	Yamaguchi Atsunori	Member
東北大学	青木 孝行	Takayuki Aoki	Member

Because a fast breeder reactor (FBR) uses sodium as a coolant and there exist systems and components unique to FBR, aging phenomena to be considered in FBR are quite different from ones in a light water reactor (LWR). Therefore it is required to make a maintenance plan for FBR by considering the characteristics of FBR.

In the Japanese LWRs, aging phenomena which occur in every part of all safety-related components have been extracted based on the O&M experiences and the technical evaluation on aging phenomena. In this study, aging phenomena or degradation mechanism which may occur in FBR was extracted based on the O&M experiences in the Japanese FBRs including the experiences of the overseas FBRs by using the three step method that is similar to one used in the Japanese LWRs.

This paper reports the results of the special committee for considering the maintenance for Monju established in the Japan Society of Maintenology (JSM), which consists of engineers from the electric utilities having LWRs, engineers from the plant vendors, and experienced people from the academic circles.

Keywords: FBR, Maintenance, Monju, LWR O&M experiences, Sodium, Aging phenomena

1. はじめに

高速炉は冷却材としてナトリウムを用いていることから高速炉特有の設備を有していること及び劣化に影響を与える要因が軽水炉と異なることから、その特徴を考慮した保全が必要である。軽水炉においては、高経年化技術評価結果を踏まえ多くのプラントの保全データを基にプラントを構成する機器ごとに各部位に想定される劣化事象を抽出している。高速炉においても、海外高速炉の事例を含め、軽水炉と同様な手法を用いて、3段階に分けて高速炉固有の劣化メカニズムを抽出した。

軽水炉を持つ電気事業者、プラントメーカーの技術者、学識経験者が参画した保全学会もんじゅ保全検討分科会において、抽出手法、劣化事象等を検討し、高速炉特有の劣化事象としてまとめた。

連絡先: 内橋 昌也
〒919-12790 福井県敦賀市白木2丁目1番地
高速増殖炉研究開発センター プラント保全部
E-mail: uchihashi.masaya@jaea.go.jp

2. 劣化事象の観点からの「もんじゅ」の特徴

2.1 ナトリウムの特徴

ナトリウムを冷却材として用いる「もんじゅ」あるいは高速炉の特徴から劣化事象を抽出する上で、冷却材として使用する上でのナトリウムの主たる特徴を下記に示す。

① 常圧での高い沸点

沸点が高く低圧で使用されるため、構造部材の薄肉化が可能でかつ冷却材のバウンダリーの損傷時にも減圧沸騰がない。高温での使用が容易なため材料のクリープ特性を考慮する必要がある。

② 小さい比熱、高い熱伝導

原子炉出入口温度差が大きくなり、定常時の2次応力(熱応力)が大きい。また、熱伝導度が大きいこととあいまって熱過渡条件が厳しくなる。

③ 高い凝固点

予熱、保温設備が必要となる。一方、冷却材を凝固させてその漏洩を防止することが可能である。(弁等のフリーズシール)

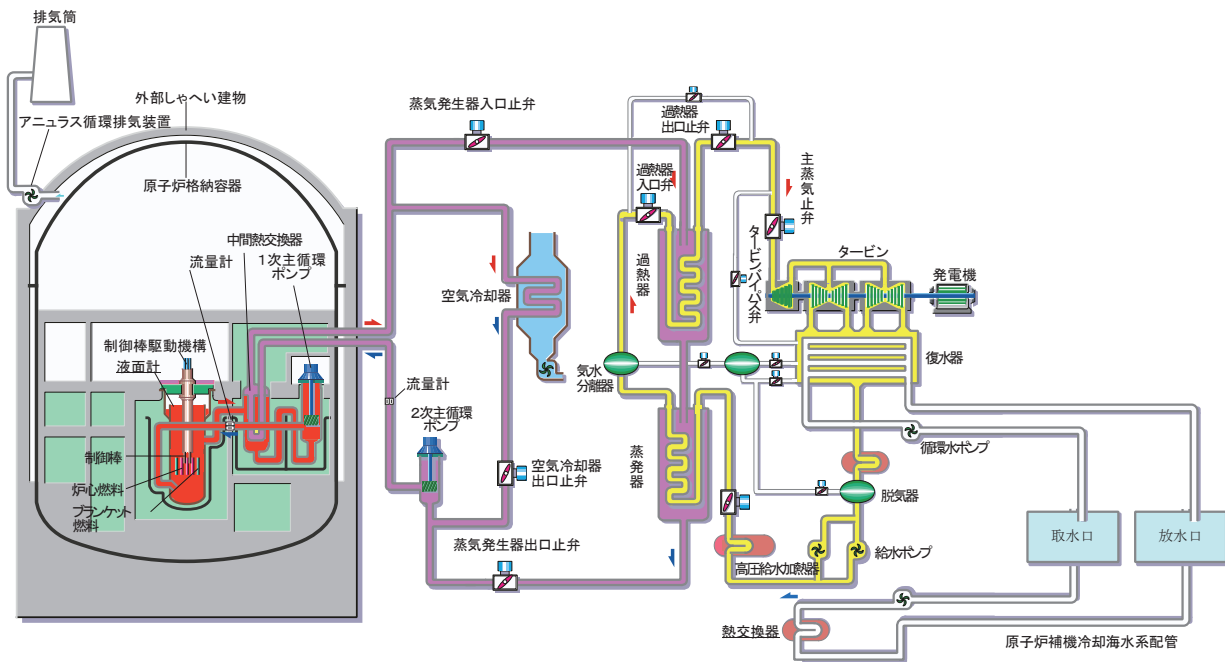


Fig.1 Schematic of Monju

④ 化学的に活性

冷却材の自由液面は不活性なアルゴンガスでカバーされ、カバーガスバウンダリーの気密維持と圧力制御が必要である。空気中で燃焼するため、放射性ナトリウムを内包する系統機器は不活性ガス（窒素ガス）雰囲気を設置する必要がある。蒸気発生器においてはナトリウムと水との間で熱交換が行われるため水が漏れいした場合その検出とその影響を緩和することが必要である。

⑤ 不透明

冷却材中の機器を目視操作、目視点検する事が困難で、遠隔操作や超音波を利用した透視装置が必要である。

⑥ 電気的良好導体

電磁流体としての特性を生かした電磁ポンプ、電磁流量計、液面計、漏れい検出器等が使用できる。

2.2 高速炉の系統構成

図1に「もんじゅ」の概略系統構成を示す。「もんじゅ」の原子炉で発生する熱は、独立した3系統のナトリウム冷却系により冷却され、1次ナトリウム系、2次ナトリウム系更に水・蒸気系と熱を伝達する。

1次系ナトリウムは約397°Cで原子炉容器の下方胴部から導入され、原子炉で加熱された後、529°Cで原子炉容器の上方胴部から流出する。2次系ナトリウムは中間熱交換器において1次系ナトリウムと熱交換し、約325°Cから約505°Cに上昇する。更に、ヘリカルコイル伝熱管を有する蒸気発生器において2次ナトリウムと水蒸気が熱

交換して約12.4MPa、約483°Cの過熱蒸気が作られ発電機に直結するタービンに送られる。表-1に「もんじゅ」とPWRの原子炉容器主要仕様を示す。

Table 1 Comparison of major specifications between Monju and PWR reactor vessel

	「もんじゅ」	PWR	
機器区分	クラス1容器	クラス1容器	
安全機能の重要度分類	PS-1：耐圧機能（構造）	同左	
型式	底部鏡板付円筒たて型容器	同左	
個数	1	1	
最高使用圧力	0.98Mpa（下部） 0.20Mpa（上部）	17.15MPa	
最高使用温度	420°C（下部） 550°C（上部）	343°C	
運転圧力	RV 入口：約0.78MPa RV 出口：約0.10MPa	約15.4MPa	
運転温度	RV 入口：約397°C RV 出口：約529°C	RV 入口：289.2°C RV 出口：324.9°C	
流体	液体ナトリウム アルゴンガス	加圧水	
設置環境	窒素	空気	
主要材料	SUS304	低合金鋼（ステンレス鋼肉盛）	
寸法	内径	約7.1m	約4.4m
	全高	約17.8m	約29m
	胴部肉厚	約50mm	約230mm

冷却材であるナトリウムは沸点が高いため軽水炉のように加圧を必要とせず、大気圧に近い圧力で原子炉が運転される。また、機器を連絡する1次系ナトリウム配管

は大部分を高所に設置し、原子炉容器、主循環ポンプ及び中間熱交換器並びにそれら接続部分の配管にはガードベッセルと称する容器を設けることにより、万一冷却材の漏えいがあった場合にも、炉心冷却に必要な1次系ナトリウムの循環が可能のように十分な冷却材を確保する設計としている。ナトリウムが化学的に活性であることから、機器の内部の液面上をアルゴンガス雰囲気とし、また放射性ナトリウムを保有する系統を収納する部屋は室内を窒素雰囲気としている。

これらの主冷却系以外に燃料交換等の炉停止時及び緊急時に炉心の崩壊熱を除去するため、補助冷却設備が設けられる。この補助冷却設備は、2次ナトリウム系より分岐し、蒸気発生器と並列して空気冷却器を備えている。補助冷却設備運転時には、1次系及び2次系主ポンプのポニーモータを動作させて冷却材を循環させる。

原子炉系統において、高速炉特有の設備あるいは冷却

材としてナトリウムを使用することによる劣化事象が軽水炉と異なる系統は、原子炉、1次及び2次ナトリウム系及びアルゴンガス系統である。また、高速炉の燃料取扱設備は、「冷却材としてナトリウムを使用すること」、「燃焼度の高い燃料等を取扱うこと」という大きな特徴を有しており、軽水炉と異なる高速炉特有の構造となっている。

3. 劣化メカニズムの抽出プロセス

3.1 全体のプロセス

軽水炉における劣化メカニズムの抽出は、日本原子力学会標準「原子力発電所の高経年化対策実施基準：2008」^[1]にて実施されている。「もんじゅ」の劣化メカニズム抽出プロセスもこれを踏襲し、高速炉特有の劣化事象等が確実に反映されるように、国内外^[2,3]の情報を取り込むこととした(図2)。具体的な手順を次に示す。

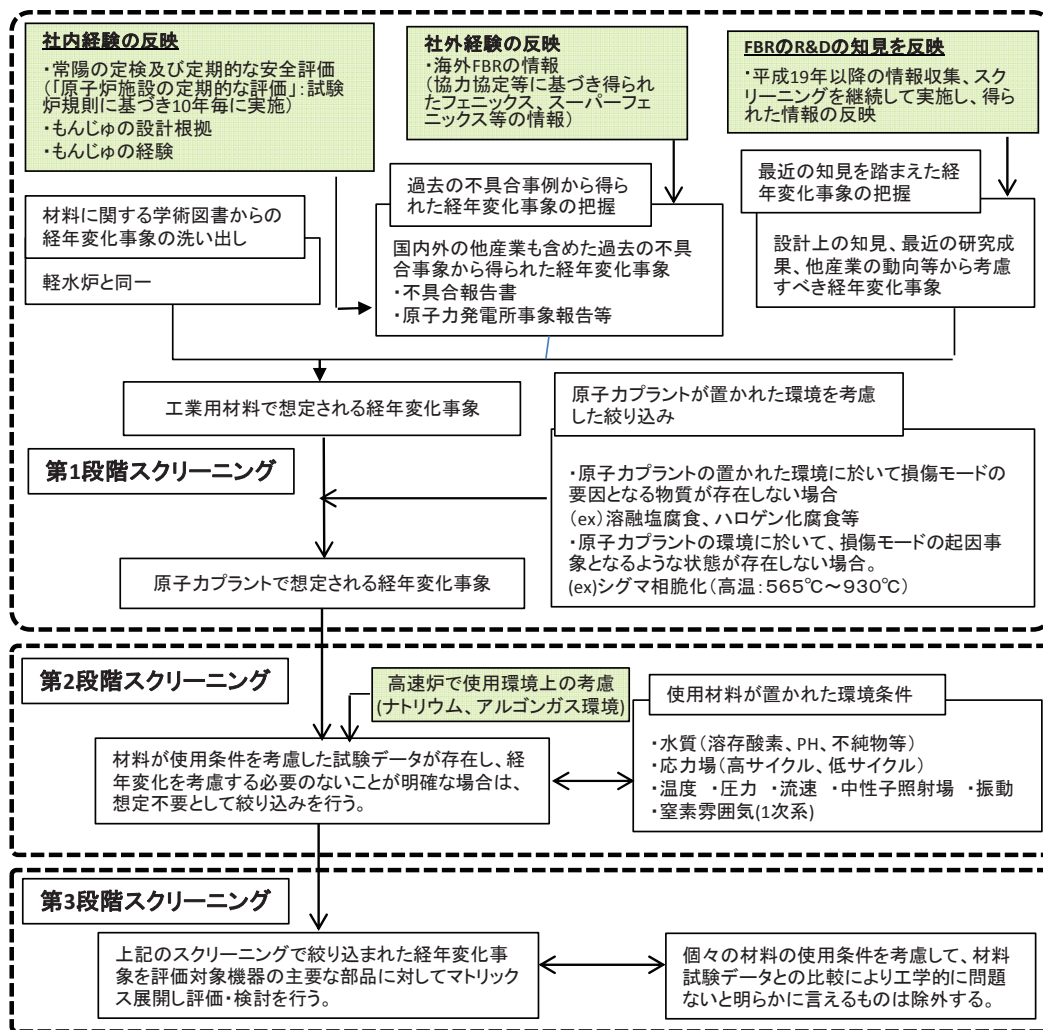


Fig.2 Flow chart for the extraction of aging phenomena

第1段階：工業用材料に想定される経年劣化事象のうち、原子炉施設が置かれている環境を考慮し、想定される劣化事象を抽出する。

第2段階：材料の置かれている環境条件を考慮し、発生が想定される経年劣化事象を抽出する。

第3段階：対象機器個別の条件を考慮し、要求される機能の維持に必要な項目に関連する主要な部位に展開した上で、部位を縦軸、経年劣化事象を横軸としたマトリックス形式により部位と経年劣化事象の組み合わせを抽出する。

第1段階及び第2段階の抽出においては、軽水炉機器と「もんじゅ」機器の違いを考慮して整理した。軽水炉機器、「もんじゅ」機器が同じ材料を使用し、機器が置かれている環境条件が同じであれば、発生する劣化事象は同じである。また、冷却材のナトリウムを内包する設備、その表面を覆う不活性カバーガスを内包する設備及び燃料を取扱う機器については、「もんじゅ」特有機器であり、劣化を抽出する際にはその特徴に留意した。

軽水炉同様設備及び「もんじゅ」特有機器の第1段階、第2段階の劣化事象抽出結果の例として、割れの損傷モードのうち、疲労について整理した結果を表-2に示す。

3.2 「もんじゅ」特有設備の劣化メカニズムの抽出プロセス(第3段階)

軽水炉同様の設備については、劣化メカニズムも同じであることから、第3段階の抽出においては、「もんじゅ」特有機器を中心に系統設計仕様書、機器設計仕様書などにより機器に要求される機能を抽出し、その維持に必要な項目に関連する主要な部位は、構造図などから抽出している。

なお、「もんじゅ」特有の設備のうち、ナトリウム、アルゴンガス雰囲気機器については、これらを動的機器(ポンプ、弁)、静的機器(容器、配管、熱交換器、炉内構造物)、その他機械設備からそれぞれ表-3の通り選定した。また、その他の軽水炉にはない特有設備は設置環境毎に選定した。

この選定の考え方を以下に示す。

- ・ 作動流体(環境条件)として「もんじゅ」特有であるナトリウム、アルゴンガスを選定
- ・ 同環境において、「もんじゅ」機器を動的機器、静的機器、「もんじゅ」特有の設備に分類
- ・ 動的機器に関し、ポンプは機械式と電磁式の2種、弁

は型式により抽出

- ・ 容器は外部雰囲気(窒素、空気、流動の有無)及び材料で分類
- ・ 熱交換器は、1次流体としてナトリウム、2次側流体(ナトリウム、水・蒸気、蒸気、空気)及び材料(ステンレスと低合金鋼)で分類
- ・ 「もんじゅ」特有で軽水炉と概念が異なる機器を抽出
- ・ 冷媒を作動流体とする機器に関しては、軽水炉の劣化メカニズムをまとめた原子力学会標準を用いるが、「もんじゅ」特有の設備は抽出

なお、電気設備のケーブルは窒素あるいは空気雰囲気にあることを確認するとともに、軽水炉と同様な環境(温度、雰囲気、 γ 線照射)であることを確認した。

3.3 設計上の考慮(劣化事象と保全対象)

ナトリウム、アルゴンガス雰囲気機器は、使用している材料がステンレス鋼であり、第1、第2段階の結果から想定される劣化事象が限定される。表-4に設計での考慮事項の例として、腐食、疲労、中性子照射劣化を示す。なお、設計時の考慮事項として表-4はその概略を示したものであり、個別の劣化事象については、第3段階のスクリーニングに記載している。

設計で考慮しているが、保全の対象としている劣化事象は、疲労のように過去に損傷例を有している事象、中性子照射劣化で示すように、加速照射による試験データに基づき設計しておりその妥当性を確認する必要がある事象である。また、設計での前提条件を満足していることを確認するため、疲労やクリープの発生応力を算出する前提となる配管支持構造の機能確認や配管熱変位、高サイクル熱疲労の損傷の前提となる異なる温度が合流する配管部での温度、腐食量算出の前提となるナトリウム中不純物濃度等については、プロセス値の監視を含め、保全対象となる。

さらに、本格運転においては計測が困難な部位については、例えば、過渡時における炉容器内の温度分布等について、性能試験において、各機器の詳細な特性を確認する。

Table2 Sample of the FBR aging phenomena extracted in the step 1 and 2 considerations

発
生
部
位

劣化メカニズム第1段階スクリーニング		工業材料で想定される経年劣化事象		考慮すべき事象		軽水炉と高速炉の異なる理由		第2段階スクリーニング					
損傷モード	経年劣化事象	定義	軽水炉		高速炉		発生部位と要因	主材料	想定要否の検討 (Na環境以外)	要否	主材料	想定要否の検討 (ナトリウム(Na)環境)	要否
			要否	要否	要否	要否							
	詳細情報												
	疲労割れ	繰り返し応力に起因して静的強度より低い応力で生じる破壊	○	○	○		疲労強度は材料、形状、応力状態及び環境により影響を受けるが、環境の影響については高温水環境の方が大気環境に比べ疲労強度が低下することが知られている。 疲労評価はS-N曲線に基づいて行う。 熱成層が生じる箇所において、その変動により割れ発生の可能性がある。 高温流体合流部等の温度ゆらぎが生じる部位における高サイクル熱疲労割れによる割れ発生の可能性もある。 小口径管台、ポンプ主軸、熱交換器伝熱管等の繰り返し応力が発生する部位は高サイクル疲労割れの可能性がある。	ステンレス鋼 ニッケル基合金 炭素鋼 低合金鋼 銅合金	設計条件や過去の運転実績に基づき工学的判断による評価上厳しい部位について想定要 ・熱成層が生じるような配管において想定要 ・高低温流体合流部等において想定要 ・小口径管台、ポンプ主軸、熱交換器伝熱管等において想定要 ・なお、疲労強度へのNa環境効果はないことを試験により確認している。	○	ステンレス鋼 フェライト鋼	設計条件や過去の運転実績に基づき工学的判断による評価上厳しい部位について想定要 ・熱成層が生じるような配管において想定要 ・高低温流体合流部等において想定要 ・小口径管台、ポンプ主軸、熱交換器伝熱管等において想定要 ・なお、疲労強度へのNa環境効果はないことを試験により確認している。	○
割れ	腐食疲労	腐食性環境中にあって繰り返し応力として静的強度より低い応力で生じる破壊	○	○	○		腐食環境にあり繰り返し応力を受ける部位について、腐食部を起点として破壊を生じることがある。	ステンレス鋼	孔食等を生じる腐食性環境中で繰り返し応力を受ける部位について想定要	○	ステンレス鋼 フェライト鋼	Na中の純度管理を実施している場合は、使用構材とNaの共存性は良好であり、Na接液及びカバークラス部(不活性なアルゴンガス)は想定不要	x
	フレッティング疲労	互いに押し付けられ、接触している2物体が相対的に微小振動を繰り返すべからず、接触面に外部荷重に起因する繰り返し応力が作用した時に生じる疲労損傷	○	○	○		PWRのポンプの主軸(ステンレス鋼)、蒸気発生器(インコネル)において過去の提議が認められているが、その原因不明等から面圧が、19.6MPa以上と高く、かつ相対すべりが発生する部位について問題となることが考えられる。	ステンレス鋼 ニッケル基合金 炭素鋼 低合金鋼 銅合金	2物体の面圧が、19.6MPa以上で、かつ相対すべりが発生する部位について想定要 インペラの接続が焼きばめポンプの主軸は想定要	○	ステンレス鋼 フェライト鋼	動的機器のポンプの静圧軸受は非接触、インペラは溶接接合であり、想定不要	x
									2物体の面圧が19.6MPa未満、または相対すべりが発生しない部位についてはし想定不要	x	ステンレス鋼 フェライト鋼	同上	x

Table 3 Identification of the components unique to Monju

設備区分 作動流体 (環境)	動的設備		静的設備				・その他機械設備(空気圧縮機、タービン設備、空調設備、電気設備) ・コンクリート構造物及び鉄骨構造物	計測制御設備
	ポンプ	弁	容器	配管	熱交換器	炉内構造物		計測制御設備
ナトリウム	1次系主循環ポンプ SS	逆止弁 SS	炉容器 SS (外面は窒素)	配管 SS	IHX(Na/Na熱交換器) SS	炉内構造物	略称 CT: コールドトラップ(ナトリウム中の不純物を捕獲) OF/T: オーバーフロータンク D/T: ダンプタンク(ナトリウムを貯留) V/T: ベーパートラップ(ガス中のナトリウム上記を捕獲) ACS: 補助冷却系(崩壊熱除去) IHX: 中間熱交換器(1次/2次ナトリウムの熱交換機) EV(蒸発器) SH: 過熱器 CRDM: 制御棒駆動機構 GV: ガードベッセル(ナトリウム漏えい時に冷却系の液位確保のためナトリウムを貯留、EVST外容器含む) IVTM: 炉内中継装置(燃料を炉内から出し入れするための装置) FHM: 燃料交換装置 Na: ナトリウム SS: ステンレス鋼	
	電磁ポンプ SS 炭素鋼	アングル弁 SS	CT SS (外面は流動窒素)		EV(Na/水・蒸気熱交換器) 低合金鋼	炉心上部機構 (Na、アルゴン)		
	CRDM SS他 (Na、アルゴン、空気)	玉型弁 SS	OF/T SS(1次系は窒素、2次系は空気)		SH(Na/蒸気熱交換器) SS			
	FHM、IVTM(Na、アルゴン、空気、水・蒸気環境)	バタフライ弁 SS	D/T 炭素鋼		空気冷却器 (Na/空気熱交換器) SS			
アルゴンガス		玉型弁 SS	遮へいプラグ	配管 SS				
		逆止弁	V/T SS					
		減圧弁	サージタンク SS					
		安全弁	減衰タンク 炭素鋼					
冷媒								
窒素ガス			GV SS			支持構造物	Na漏えい検出器	
空気							Na漏えい検出器	
水・蒸気 海水								

注 1)斜線のセルは該当機器無
2)網掛けのセルは原子力学会標準を使用

Table 4 Aging phenomena identified in the Monju design stage

損傷モード	経年劣化事象	設計での考慮事項
減肉	腐食	純度管理されたナトリウム (Na) 中では、金属と金属の反応すなわち配管表面の金属がわずかにNa中に溶出すること、さらにNa中の酸素がそれを加速することが腐食の要因である。このため、Na中の酸素濃度を管理することによりNa環境下のステンレス鋼の腐食食はごくわずかであり、劣化事象として考慮する必要はない。また、実験炉「常陽」の高経年化評価で測定した配管の腐食が有意でないことを確認しており、保全対象の劣化事象として考慮する必要はない。
割れ	疲労	高速増殖炉での劣化事象として、起動/停止に伴う温度変化により生じる熱応力による疲労あるいは高温部におけるクリープ、クリープ疲労によるき裂があげられる。高速炉設計・建設規格【4】に基づき、設計がなされ、プラント寿命中の累積クリープ・疲労損傷を評価し許容範囲内としている。一方、各国における初期の高速炉において損傷例もあることから保全対象の劣化事象とする。
	SCC	純度管理されたNa中においては、SCCの環境要因が存在しないこと、過去の損傷事例もないことから保全対象の劣化事象ではない。(Na接液部あるいはアルゴンガス部以外については、個別に劣化事象の判定を行う)
材料変化	劣化(中性子照射劣化)	中性子照射を受ける炉内構造物で想定される劣化事象であり、先行炉の照射試験により劣化を評価し、設計を行っている。照射量の累積により劣化は進行すること、実炉条件と完全に同一条件での照射ではないことから保全対象の劣化事象である。 注: 高速増殖炉における中性子照射劣化は、材料の延性の低下として生じるため、炉内監視試験片で破断伸びを確認する。

3.4 「もんじゅ」特有設備の劣化メカニズム

3段階の抽出結果を部位と経年劣化事象の組み合わせとして整理した結果として、原子炉容器と1次主冷却系配管の例を表-5に示す。なお、この結果を用いて、同じ区分の機器については、同様に展開できると考える。

第1段階及び第2段階の抽出においては、「もんじゅ」特有機器の劣化事象を検討した結果、下記のような特徴が上げられる。なお、「もんじゅ」の保全情報は、建設が終了した平成3年から平成20年までの設備の点検記録等であり、その間に行った安全性総点検における設備改善等（過去に設備改善を行った経緯）の情報及び長期停止プラントである「もんじゅ」が再起動するにあたり、使用前検査を受検した当時の状態維持していることを確認するために行った「長期停止プラントの設備健全性確認」の情報を反映している。^[1]

以下にもんじゅ」特有の劣化事象を例示する。

- ・ 第1段階のスクリーニングで軽水炉と異なる劣化事象として、構造材料の脱炭、浸炭が抽出された。これらの劣化は、ナトリウムループを用いたバイメタリックループでの実機環境を模擬した条件での材料試験によりデータを取得し、同データに基づき設計を行っていることから、第3段階で保全の劣化としては想定不要とした。
- ・ 電気・計装関係では、過去のトラブル事例として、リレーの接点溶着が抽出されまた、電磁流体であるナトリウムの特徴から永久磁石を使用している機器についての減磁が抽出され、これらは、保全において考慮すべき事象とした。
- ・ 軽水炉で想定されている炉容器内での照射誘起応力腐食割れはナトリウム環境では生じないこと、蒸気発生器でのデンティングはナトリウム環境では腐食生成物が極めて少なく想定不要とした。
- ・ ナトリウム及びアルゴンガス系設備において、内面はSCCを保全対象の劣化として考慮する必要はないが、外面におけるSCCについては、使用条件(運転停

止時に常温となる場合)、環境(海塩及び湿分の流入)、塩素の持ち込み等で発生することに留意する必要がある。

4. おわりに

保全計画の作成において、点検内容、点検頻度設定の基礎となるナトリウム冷却高速増殖炉の劣化事象に関し、軽水炉における劣化事象の整理プロセスと同じく、3段階に分けて整理した。劣化事象と第1段階から第2段階の抽出作業において、「もんじゅ」で想定される劣化事象を整理した。この結果と軽水炉機器における劣化事象を比較し、違いを明確にすることにより、「もんじゅ」機器に特有の劣化事象を整理した。これらの結果を各機器の部品レベルに展開し、各部に生じる劣化事象とそれを検知するために必要な点検内容を第3段階にて整理した。

ナトリウム冷却高速増殖炉としての保全経験は十分とは言えず、特に、第3段階における部品レベルの劣化とその保全に関しては、今後の実機でのデータによる充実が必要である。「もんじゅ」特有の機器の点検計画には本結果を、軽水炉と同様な仕様及び設置環境の機器に関しては、軽水炉の劣化メカニズムを活用した保全計画に基づく保全、保全データの採取、評価及び保全内容や方式の見直しと劣化メカニズム反映を行うことにより、保全の充実が可能である。

参考文献

- [1] 日本原子力学会標準「原子力発電所の高経年化対策実施基準：2008」
- [2] 磯崎他「高速実験炉「常陽」の定期的な評価—高経年化に関する評価—」日本原子力研究開発機構
- [3] 高速増殖原型炉もんじゅ安全性総点検に係る対処及び報告について
- [4] 日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 第II編 高速炉規格 (JSME S NC2)」

Table 5 Sample of the FBR aging phenomena extracted in the step 3 considerations

第3段階の抽出結果【原子炉容器】

機能達成に必要な項目	部位	材料	環境	第2スクリーニングにより抽出した劣化		保全項目
				主材料で想定される劣化	発生部位と要因からの抽出	
機器の支持	上部フランジ	SUSF304	Ar(内)、N ₂ (外)	減肉(摩耗、腐食) 割れ(疲労、SCC、遅れ破壊) 材料変化(熱劣化、劣化) その他(異物付着、Naベーパー)	割れ(疲労)	放射性カバークラスモニタ による連続漏えい監視
	上部銅	SUSF304	Na(内)、N ₂ (外)	減肉(摩耗、腐食) 割れ(疲労、腐食) SCC、遅れ破壊) 材料変化(熱劣化、劣化) その他(異物付着、Naベーパー)	材料変化(熱劣化) 割れ(クリープ疲労)	連続ナトリウム漏えい監視 (材料監視)
	コニカル銅	SUSF304			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視
	Yピース	SUSF304			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視
	中間銅	SUSF304			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視
	炉内構造物取付台	SUSF304			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視
	下部銅	SUSF304			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視
	下部サポート	SUSF304			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視
	1次冷却材入口ノズル	SUSF304			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視
	1次冷却材出口ノズル	SUSF304			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視
	1次ナトリウムオーバーフロー系汲上げ 配管ノズル	SUSF304			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視
	1次ナトリウムオーバーフロー系主オー バフロー配管出口ノズル	SUSF304			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視
	1次ナトリウムオーバーフロー系補助 オーバーフロー配管出口ノズル	SUSF304			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視
	メンテナンス冷却系出入口ノズル	SUSF304			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視
カバークラス系出口ノズル	SUSF304	割れ(疲労)			連続ナトリウム漏えい監視	
カバークラス系連結ノズル	SUSF304	割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視			

第3段階の抽出結果【1次主冷却系配管（配管口径(2B, 24B, 8B, 6B, 1B)）】

機能達成に必要な項目	部位	材料	環境	第2スクリーニングにより抽出した劣化		保全項目
				主材料で想定される劣化	発生部位と要因からの抽出	
Naバウンダ リの維持	エルボ	SUS304	Na(内)、N ₂ (外)	減肉(摩耗、腐食) 割れ(疲労、腐食) SCC、遅れ破壊) 材料変化(熱劣化、劣化) その他(異物付着、Naベーパー)	割れ(疲労(クリープ疲労))	連続ナトリウム漏えい監視
	管	SUS304TP			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視
	温度計座	SUS304TP			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視
	ドレン取付座	SUS304-B			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視
	ベント取付座	SUSF304			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視
	ノズル	SUSF304			割れ(疲労)	連続ナトリウム漏えい監視