

原子力発電所の安全な長期運転に向けた ATENAの取組み

2024年9月5日

原子力エネルギー協議会
(ATENA : Atomic Energy Association)

目次

1. ATENAについて

1-1 ATENAの概要

1-2 安全性向上に対する基本方針

2. 安全な長期運転に向けた経年劣化管理に関するATENAの取組

2-1 プラント長期停止期間中における保全に係る取組

2-2 設計経年化管理に係る取組

2-3 製造中止品管理に係る取組

2-4 プラント運転中も含めた経年劣化管理に係る取組

2-5 PWR1次系ステンレス鋼配管粒界割れの知見拡充

2-6 ATENAを中心とした経年劣化に係る今後の取組

3. まとめ

目次

1. ATENAについて

1-1 ATENAの概要

1-2 安全性向上に対する基本方針

2. 安全な長期運転に向けた経年劣化管理に関するATENAの取組

2-1 プラント長期停止期間中における保全に係る取組

2-2 設計経年化管理に係る取組

2-3 製造中止品管理に係る取組

2-4 プラント運転中も含めた経年劣化管理に係る取組

2-5 PWR1次系ステンレス鋼配管粒界割れの知見拡充

2-6 ATENAを中心とした経年劣化に係る今後の取組

3. まとめ

1-1 ATENAの概要

名称 原子力エネルギー協議会 (**A**tomic **E**nergy **A**ssociation)

設立 2018年 7月 1日

役員 理事長：魚住 弘人、理事：富岡 義博、佐藤 拓、監事2名

職員 原子力事業者及びメーカーから、**各分野の専門家を結集** (約30名)
(専門分野) 安全設計、自然外部事象、機械・電気設備 等

会員 電力：11社、プラントメーカー：4社、関係機関：4機関

北海道電力、東北電力、東京電力ホールディングス、中部電力、関西電力、北陸電力、中国電力、
四国電力、九州電力、日本原子力発電、電源開発

東芝エネルギーシステムズ、日立製作所、三菱重工業、三菱電機

電気事業連合会、電力中央研究所、日本原子力産業協会、日本電機工業会

オブザーバー：原子力安全推進協会、日本原燃、日本原子力研究開発機構

(順不同)

1-1 ATENAの概要（ミッションおよびビジョン）

ミッション

- ATENAは、**原子力産業界全体の知見・リソースを効果的に活用**しながら、自主的に効果ある安全対策を立案し、事業者の現場への導入を促すことにより、原子力発電所の安全性をさらに高い水準に引き上げる。

ビジョン

- 原子力産業界の中で**自らがリーダーシップを発揮し、原子力の安全に関する課題に対して一歩前に踏み出して取り組む**ことで、原子力事業者の安全性向上の取り組みを促進する。

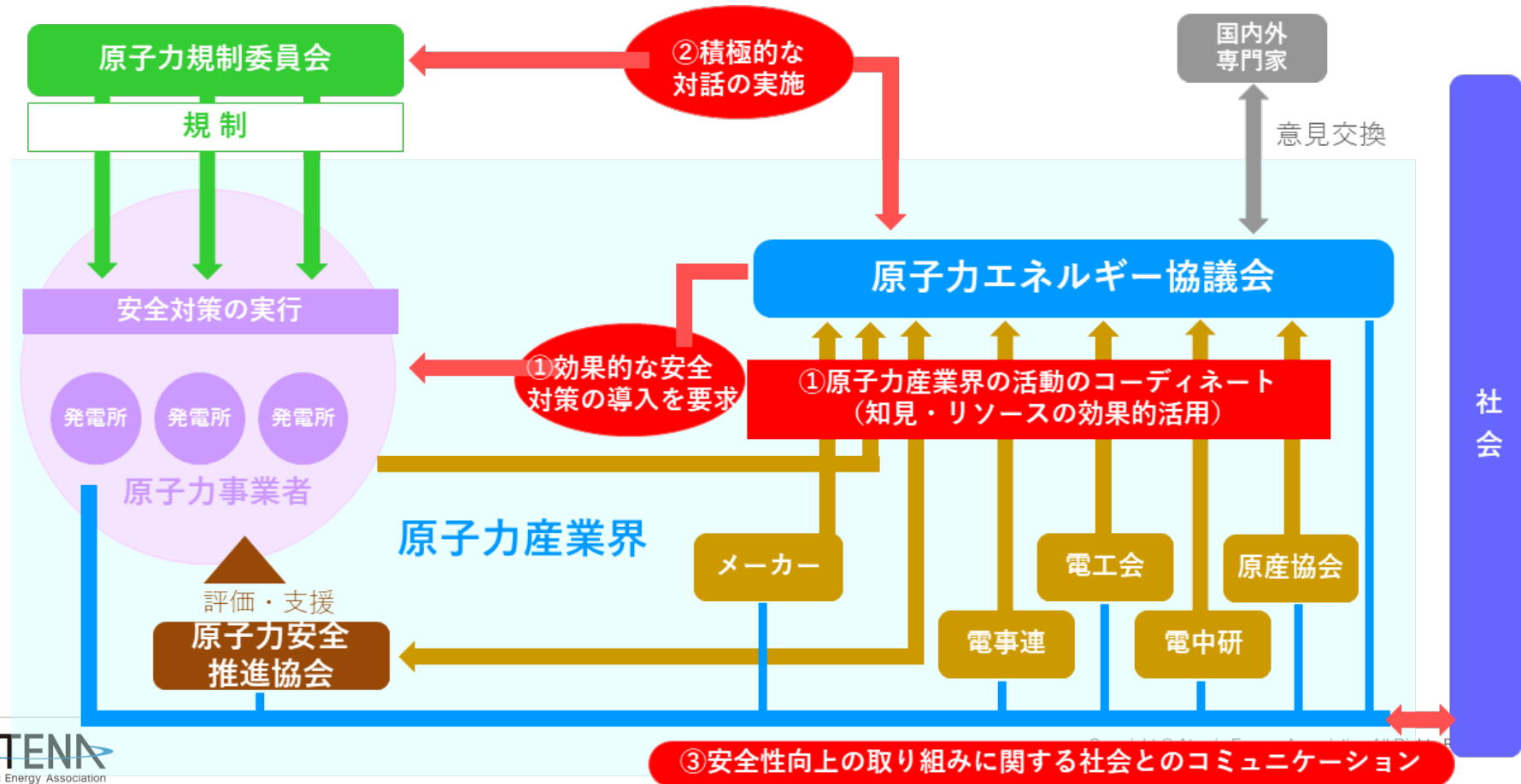
上記を達成するため以下の姿勢で取り組む。

- ◎ 原子力産業界が自ら一歩先んじて安全対策に取り組む
- ◎ これまでに配備した安全対策に改善余地がないか常に問い直す
- ◎ 自ら安全性向上のスパイラルを達成できる方策を構築する

なお、上記取り組みには、「メーカーの積極的な参加を得る」、「産業界全体がATENAの一員であるという意識で参画する」ことを図りながら実施している。

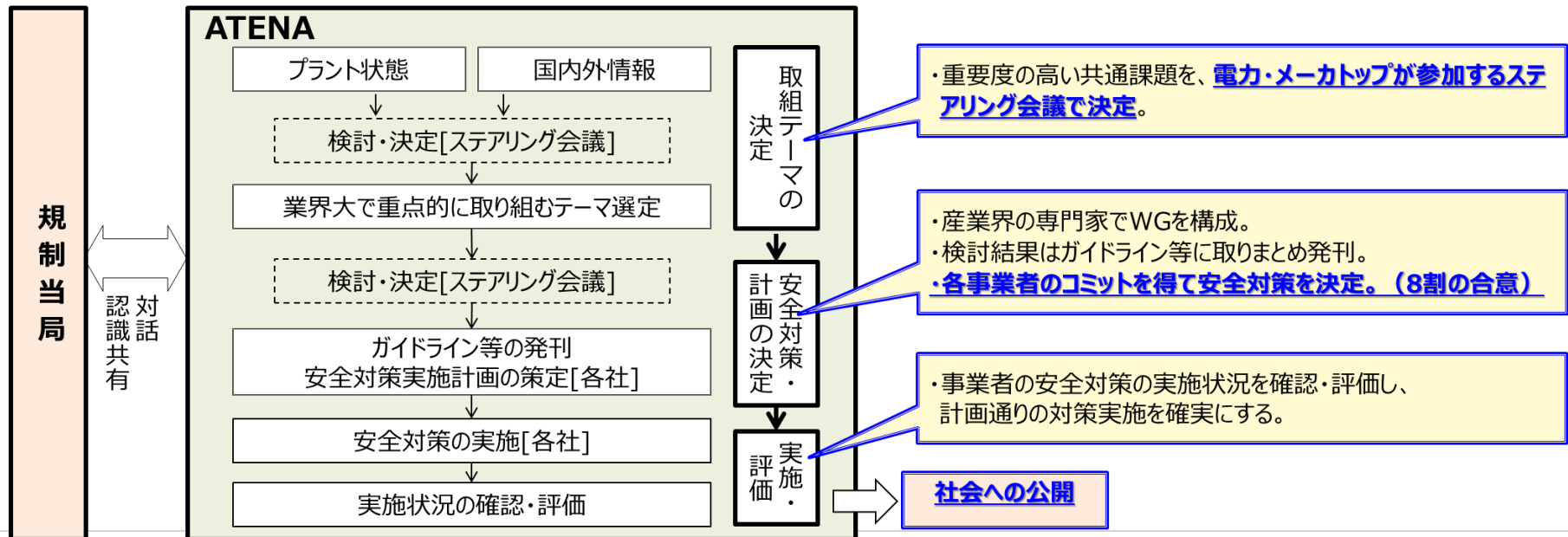
1 -1 ATENAの概要：ATENAの役割

- ① 電力だけでなくメーカーの専門家も参加している強みを活かし、効果的な安全対策を立案し、事業者に安全対策の導入を要求。課題の特定・検討段階において、産業界の活動をコーディネートし、各機関の知見・リソースを活用。
- ② 安全性向上という共通の目的のもと、規制当局と積極的な対話を実施。
- ③ 様々なステークホルダーと安全性向上の取り組みに関するコミュニケーションを実施。



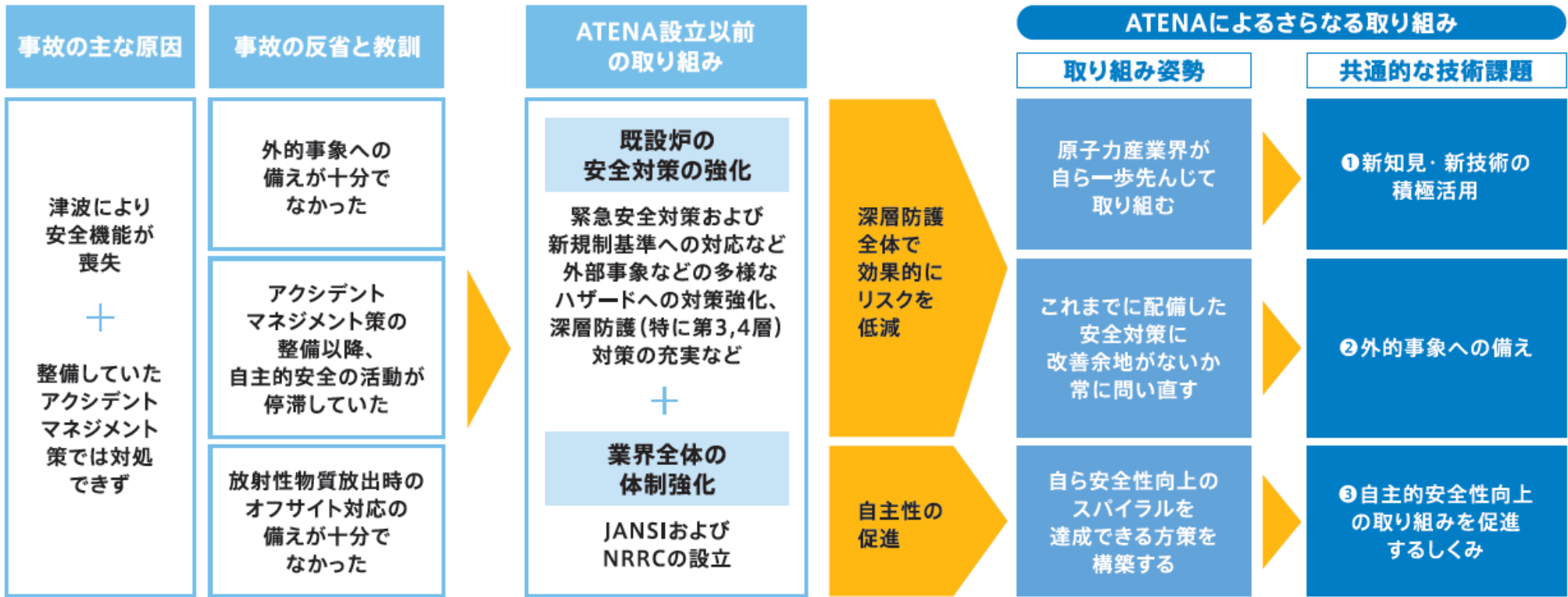
1-1 ATENAの概要：活動のしくみと特徴

- **重要度の高い共通的な技術課題**を検討の上、電力・メーカトップが、**全会一致を必要としないステアリング会議**で取組テーマとして**決定**する。
- ステアリング会議で決定した対策の実行は、**事業者全員がコミット**する。
- **ATENAに配置した高度の専門性を有するスタッフ**が技術検討を行い、安全性向上対策をガイドライン等に定め、個社へ展開する。技術検討においては、**産業界全体の活動をコーディネートし、リソースを効果的に活用**する。
- 共通的な規制課題は、**産業界を代表してATENAが規制当局と対話**する。
- 技術レポートをはじめとする活動成果や取組状況は**社会へ公表**する。



1-2 安全性向上に対する基本方針：共通的技術課題への対応

ATENAは、福島第一原子力発電所事故の反省と教訓に加え、事故後の原子力事業者の取り組み状況を踏まえ、以下の共通的な技術課題に取り組む。



JANSI : 原子力安全推進協会
NRRC : 原子力リスク研究センター

1-2 安全性向上に対する基本方針：安全性向上に向けた取組

共通的な技術課題に関し、**国内外の動向**を踏まえ、**原子力発電所の安全性を効果的に高めていく分野**として取り組んでいる例は、以下のとおり。

- ① 海外事例から先取りした事例（先んじて安全対策に取り組む）
 - ・ **デジタル安全保護系のソフトウェア共通要因故障**への対応（アナログ回路の機能を拡充）
 - ・ **電磁両立性（EMC）**への対応（電磁的事象による電子機器への影響がないことを確認）
 - ・ **1相開放故障事象*（OPC）**への対応（自動検知装置を設置）
- ② 規制基準の枠に留まることなく安全性向上に取り組んだ事例（改善余地がないか問い直す）
 - ・ **規制基準の想定を超える自然現象への取り組み**
- ③ 安全な長期運転に向けた事例（安全性向上のスパイラルを達成できる方策を構築）
 - ・ 新規制基準に適合し再稼働した既設炉が、長期に亘って安全に運転を継続するための **経年劣化管理のガイド、レポートを発刊**
 - ・ **経年劣化知見拡充WGを設置**し、経年劣化管理に係る活動計画を策定

本日は③について御説明

目次

1. ATENAについて

1-1 ATENAの概要

1-2 安全性向上に対する基本方針

2. 安全な長期運転に向けた経年劣化管理に関するATENAの取組

2-1 プラント長期停止期間中における保全に係る取組

2-2 設計経年化管理に係る取組

2-3 製造中止品管理に係る取組

2-4 プラント運転中も含めた経年劣化管理に係る取組

2-5 PWR1次系ステンレス鋼配管粒界割れの知見拡充

2-6 ATENAを中心とした経年劣化に係る今後の取組

3. まとめ

2. 安全な長期運転に向けた経年劣化管理に関するATENAの取組(1/2)

- ATENAは、原子力発電所の安全な長期運転に向けて、また、停止期間が大幅に長期化している状況にも対応していくため、物理的/非物理的な経年劣化管理に関連するIAEAガイド※の記載（SSG-48：約220項目、SSG-25：約30項目、SSR-2/2：約10項目）に対する事業者の取り組み状況を分析し、以下に示す3項目について、ATENAガイドを取りまとめ、経年劣化管理の強化を事業者に求めた。

＜物理的な劣化に関するもの＞

①長期停止期間中の経年劣化管理

＜非物理的な劣化に関するもの＞

②設計経年化管理

③製造中止品管理

- 更に、①の長期停止期間中の経年劣化管理に加え、**④プラント運転中も含めた経年劣化管理**についても、80年認可が行われている米国の知見などを参考に、経年劣化評価に関する知見拡充事項を纏めたレポートを作成した。
- 上記の包括的な経年劣化管理の取組みに加え、運転経験で得られた新知見についても共通課題となるものは個別に取組んでいる（大飯3号加圧器スプレイ配管溶接部の粒界割れを受け、**PWR1次系ステンレス鋼配管粒界割れの知見拡充**に関し体制を組んで取組中）。

※IAEAガイド SSG-48：Ageing Management and Development of a Programme for Long Term Operation of Nuclear Power Plants（原子力発電所の長期運転に関する経年劣化管理及びプログラムの策定）

SSG-25：Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants（原子力発電所の定期安全レビュー）

SSR-2/2：Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation（原子力発電所の建設及び運転における安全性）

2. 安全な長期運転に向けた経年劣化管理に関するATENAの取組(2/2)

取組事項	事業者の取組状況 (には規制対応を含む) とATENAの取組		
物理的な劣化	<p>設備の経年劣化への対応</p> <p>(経年劣化事象) 腐食、SCC、摩耗、照射脆化、疲労等</p>	<p><通常運転時></p> <ul style="list-style-type: none"> 計画的な保全 定期的な経年劣化評価 (高経年化技術評価: 30年以降10年毎) 運転期間延長認可申請 (40年超(～60年)運転の評価) 最新知見を踏まえた経年劣化管理の継続的な見直し <p><長期停止期間></p> <ul style="list-style-type: none"> 停止状態を考慮した保全 経年劣化評価 (冷温停止PLM評価、長期停止期間の経年劣化評価) <ul style="list-style-type: none"> 大部分の機器は不使用 <ul style="list-style-type: none"> 停止中は劣化モードなし 保管により有意な劣化なし 一部の機器は使用 <ul style="list-style-type: none"> 保全により機能回復・維持 有意な劣化なし(評価で確認) 	<p>④ ATENAレポートを作成済 (2022年3月発刊)</p> <p>より安全な長期運転に資するべく、米国80年運転認可も参考に、経年劣化評価に必要な知見拡充事項を整理</p>
	非物理的な劣化	<p>最新知見の反映 (設計経年化対応)</p>	<p>サイクル毎に最新知見を集約し、分析結果やプラント安全評価結果を元に、プラント安全をレビュー</p>
<p>製造中止品への対応</p>		<p>部品・サービスの特性に応じ、事業者毎で安定調達の方法を検討 (長期施設管理計画として今後規制対応事項となる)</p>	<p>ATENAガイドを作成済 (いずれも2020年9月発刊)</p> <p><①長期停止保全ガイド> 長期停止期間における経年劣化も考慮し、各社個別に策定している停止中の保全計画の策定の考え方を整理</p> <p><②設計経年化評価ガイド> 「設計経年化」の観点からプラントの設計を評価し、継続的な安全性向上に取り組んでいく仕組みの構築</p> <p><③製造中止品管理ガイド> プラントメーカ・事業者間で、製造中止品情報の共有、予備品の充実等を、効率的に管理する仕組みの構築</p>

2-1 プラント長期停止期間中における保全に係る取組 ～背景・概要

【従来の取組み】

- 停止期間が大幅に長期化している状況を踏まえ、各事業者が劣化管理を確実にすることは、今後の安全な長期運転のためにも重要。停止中状態を考慮した保全計画については、「特別な保全計画」として、炉規法に基づき規制当局に申請し、保全を実施。

ATENAは、長期停止期間中の経年劣化管理の観点から考慮すべき事項をガイド案として整理

- 経年劣化事象を網羅的に整理の上で、使用する機器／保管機器毎の現場環境を考慮しつつ、長期停止中の劣化影響を一般化した知見として整理 ⇒ 13
- 重要な取替困難機器については個別に経年劣化影響・保全ポイントを整理 ⇒ 14

長期停止期間中の取替困難機器の経年劣化影響・保全ポイントを中心に、規制当局と意見交換 ⇒ 15

- プラント毎に適切に保管及び点検することにより、進展を抑制できることを規制当局との間で認識共有。

意見交換結果を反映してATENAはガイドラインとして発刊し、事業者に対しガイドラインを踏まえた保全計画のセルフチェックと、必要に応じ保全計画の見直しを行うことを要求。

- 各社は保全計画の見直しを含め、停止期間が長期化しているプラントの状況に適確に対応。⇒ 16
また、事業者間で運転経験に係る情報を共有。

2-1 プラント長期停止期間中における保全に係る取組 ～ガイド案 (1/2)

- **経年劣化事象を網羅的に整理**の上で、使用する機器／保管機器毎の現場環境を考慮した**長期停止中の劣化影響を、ATENAは一般化した知見としてガイド案に整理。**
 - ・長期停止期間中に使用しない状態となる機器に想定される**経年劣化事象・影響**を整理
 - ・使用条件の違いにより、通常と異なる**保全サイクル**となり得る**機器の経年劣化事象・影響**を整理

長期停止期間中の分類	経年劣化事象 (例)	
保管機器 (使用しない機器) では劣化進展せず	原子炉圧力容器	中性子照射脆化
	炉内構造物	照射誘起型応力腐食割れ
保管機器 (使用しない機器) においても留意が必要	ステンレス製屋外機器	貫粒型応力腐食割れ (塩素型)
通常待機している機器を連続運転する等、使用頻度増大に伴い劣化進展増大の可能性有	ポンプ (駆動部)	摩耗
	熱交換器 (伝熱管)	摩耗及び高サイクル疲労割れ
	ポンプモータ	絶縁特性低下 (熱劣化)
通常と異なる運用をしている機器においては劣化進展増大の可能性有	弁	疲労割れ
		腐食 (エロージョン)

2-1 プラント長期停止期間中における保全に係る取組 ～ガイド案 (2/2)

- **取替困難機器**（原子炉容器・格納容器・コンクリート構造物）の部位毎に、**長期停止期間中に経年劣化が進展するか否か、ATENAは知見をガイド案に整理。**

長期停止期間中の経年劣化事象の分類	取替困難機器と経年劣化事象（例）		保管及び点検
劣化が進展し、機器の機能維持に影響を及ぼすおそれがある	－（該当なし）		－
劣化は進展する可能性があるが、適切な保全活動を行うことで進展を抑制可能	原子炉容器	応力腐食割れ・腐食	水質管理・保管
	格納容器	腐食	塗膜の点検
	コンクリート構造物	中性化・塩分浸透	点検
長期停止期間中に劣化が進展しない	原子炉圧力容器	中性子照射脆化	－ （不要）
	格納容器	熱疲労	
	コンクリート構造物	熱疲労	

- **中性子照射脆化等は停止期間中に劣化要因として考慮不要**であること、また、腐食など、劣化が進展する可能性があるものについては、各事業者が、**プラント毎に適切に保管及び点検することにより、進展を抑制できることを規制庁との間で認識共有。**（次葉）

2-1 プラント長期停止期間中における保全に係る取組 ～ 規制当局との意見交換

- ATENAは、長期運転を安全に進めるため、経年劣化管理の取組を強化するために作成したガイド案をもとに、規制当局と技術的な意見交換を実施。

<経緯と実績>

- ATENAから、技術的な意見交換の場の設定を要請（令和元年12月2日）
- 原子力規制委員会において、「経年劣化管理に係るATENAとの実務レベルの技術的意見交換会」の設置を了承。（令和2年1月29日）
- **技術的意見交換会の開催**（令和2年3月～7月）

回	日時	
第1回	3月 6日	10:00～12:00
第2回	4月27日	9:00～12:00
第3回	5月22日	10:00～12:00 13:30～16:00
第4回	6月 1日	9:30～12:00
第5回	6月15日	9:00～12:00
第6回	7月 1日	16:30～18:30



- 原子力規制委員会は、ATENAとの技術的な意見交換を経て、「見解文書」を発出。

『運転期間延長認可の審査と長期停止期間中の発電用原子炉施設の経年劣化との関係に関する見解』（令和2年7月29日）

- 中性子照射脆化、低サイクル疲労などについては、長期停止期間中にはそのような事象が生じる環境にないことから、考慮しなくてもよい。
- コンクリート構造物の中性化や塩分浸透など、**長期停止期間中も劣化が進展する事象**はあるが、**各事業者が、プラントごとに適切に保管及び点検することにより、進展を抑制することができる。**
- **規制当局としては、事業者の保管対策及び点検の適切性について、個別プラントごとに確認することが必要である。**

2-1 プラント長期停止期間中における保全に係る取組 ～実機反映例

- 規制当局との意見交換内容を反映したATENAガイド発行後、ガイド記載の各経年劣化事象の影響について、各社は長期停止中の自プラントの保全計画に照らしてセルフチェックを実施の上で、必要に応じ計画の見直しを行い、停止期間が長期化している状況に適確に対応。

管理NO.	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(AESJ-SC-P005:2015) 附属書E		ATENAガイドライン		セルフチェック		
	第1段階スクリーニング		停止中スクリーニング		確認結果		
	工業材料で想定される経年劣化事象		長期停止期間中の保管機器(使用しない機器)で想定される経年劣化事象				
損傷	経年劣化事象	要否	理由	想定される設備の例			
3	減肉 腐食 全面腐食	全面腐食	○	<p>管理された水質による満水保管、乾燥保管、空期運転の継続、塗装等による防食措置等により、劣化を抑制することができるが、想定は必要。</p> <p>なお、以下の場合には留意が必要： ・湿式保管で水質管理できない場合 ・乾式保管で乾燥状態を維持できない場合(排水の不備で残留水が懸念される場合等) ・結露が生じやすい環境になる場合(内部ヒーターを停止する場合等)</p> <p>【事例(海外)】 Browns Ferris-1の長期停止期間における残留熱除去給水(RHRSW)系統及び原水冷却水(RCW)系統配管の腐食(排水して保管していた配管内部に原水が残留していたことに起因するもの)</p> <p>【事例(国内)】 参考資料の別表を参照</p> <p>【事例(国内)】 保温材が取り付けられた脱気器空気抜き管(屋外)の外装板の隙間より雨水が浸入し、長期間湿度上昇となったことにより、配管外面からの腐食が進展し貫通(NUCIA通番12794)</p> <p>また、保温材が取り付けられた屋外配管については、雨水の浸入に伴う外面腐食を考慮する必要がある。保温材の取り付け状態の確認等により劣化を防止することができるが、想定は必要。</p>	<p>ポンプ、容器、配管、弁等</p>	<p>①満水保管のうち水質管理をしていない設備の管理状況</p> <p>②乾燥保管のうち乾燥状態を維持していない設備の管理状況</p> <p>③空期運転の継続、塗装等による防食措置等を実施している設備(屋外設備含む)の管理状況</p> <p>④満水保管のうち水質管理をしていない設備の管理状況</p> <p>⑤乾燥保管のうち乾燥状態を維持できない設備の管理状況</p> <p>⑥結露の管理状況</p> <p>⑦保温材の管理状況</p>	<p>①満水保管のうち、原子炉水等の純度については社内規定に基づき、水質管理を実施している。</p> <p>②乾燥保管のうち開放された状態で保管している設備については、空期運転の継続により内部の乾燥状態を維持している。また、一部の設備については乾燥空気による連続降気を実施している。</p> <p>③屋内設備については、空期運転の継続により乾燥状態を維持しており、また、巡視点検により定期的に腐食状況の確認を実施している。屋外設備については、巡視点検により定期的に腐食状況の確認を実施している。</p> <p>④満水保管のうち、水質管理をしていない設備については、保管時に社内規定に基づき管理された水にて満水とした上で隔離している。なお、隔離により、不純物混入の可能性は低く、水質悪化は想定されないため、著しい腐食の進展は考えにくいものの、保管状況の確認のための水質確認又は点検を計画する。また、確認結果を踏まえて、必要に応じて水平展開を行う。</p> <p>⑤乾燥保管のうち乾燥状態を維持できない設備については、水抜き等を行った上で隔離している。</p>

各原子力事業者によるセルフチェック
 …ガイドラインの経年劣化事象毎に、各原子力事業者は自プラントの保全要否/状況をセルフチェックし対応方針を決め、必要に応じ変更・追加対応も追記

停止期間中に想定すべき経年劣化事象

運転経験情報も踏まえて、留意事項を記載

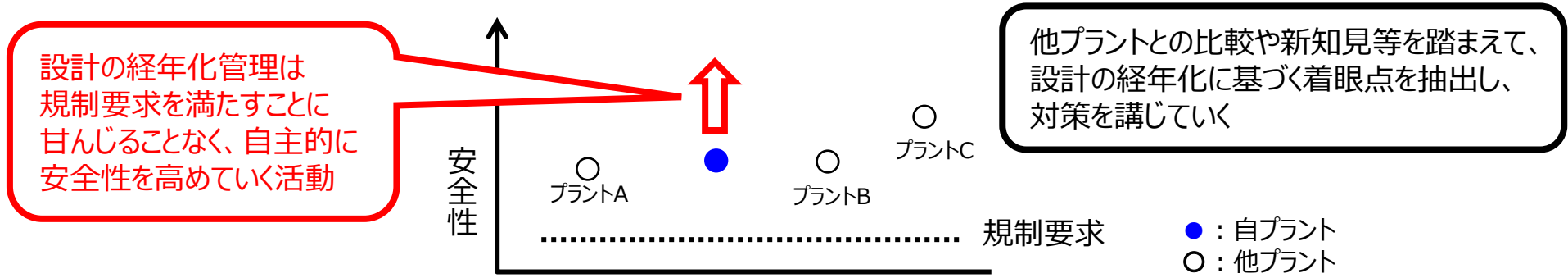
国内外運転経験情報を参考として記載

長期停止を考慮した保全計画の変更・追加対応例
 ・満水保管のうち、水質管理をしていない設備は、保管時に管理された水で満水になっている為、著しい腐食の進展は考えにくいものの、水質確認もしくは点検を計画する。

2-2 設計経年化管理に係る取組 ～背景・概要 (1/2)

- ✓ 原子力発電所の設計は、従来から深層防護の考え方に基づいているものの、技術開発や運転経験の反映あるいは合理化のような検討の深まりに対応してきたことによって、プラントが造られた年代で設計に差がある。
- ✓ 例えば、福島第一原子力発電所では、タービン建屋の地下階に安全系の電源系設備（非常用ディーゼル発電機、非常用電源盤）が設置され、これが津波による全電源喪失事故の一因となった。タービン建屋の地下に安全系の電源系設備が設置されている設計は古いプラント固有の設計であり、津波等による浸水に対する脆弱性があったといえる。
- ✓ 福島第一原子力発電所の事故を踏まえて策定された新規制基準に適合することで、このような脆弱性は改善しているが、規制要求を満たすことに甘んじることなく、プラント設計が異なることによる安全上の弱点を抽出する仕組みが重要であると判断し、プラント設計の違いに着目して安全性を評価する事業者自主の仕組みとして「設計経年化評価」を導入することとした。

≪設計の経年化評価のイメージ≫



2-2 設計経年化管理に係る取組 ～背景・概要 (2/2)

- ✓ 設計経年化評価のうち**内的事象に係る評価**では、**設計情報※を直接比較し、設計の差異を着眼点として抽出**することとした。仮に設計思想が変わった場合、その変化は結果として設計の差として現れることから、内的事象に係る評価の中で抽出できると考えている。
- ✓ 一方で、**外的事象**については、**プラントの頑健性が現場の配置等にも大きく影響**を受けることから、系統図等の設計情報の比較だけでは、着眼点を抽出するには不十分である。そこで、プラントの設計基準を超えたハザードに対する脆弱性を評価する**PRAやストレステスト等を実施し、脆弱性を大きく支配する設計上の特性を着眼点として抽出し、分析**することとした。

※性能、系統構成、材料・材質、作動方法・インターロック、系統運用及び機器型式の視点から設計情報を比較する。ただし、材料・材質については、異常発生防止の最重要設備である原子炉冷却材圧力バウンダリに適用する。

2-2 設計経年化管理に係る取組 ～評価の状況（1/3）

- ✓ **内の事象**については、ATENAガイドラインに基づき、**BWR・PWRともに、①設計情報の比較による設計経年化の着眼点を抽出し、②評価、③対策案の検討を進めている。**
- ✓ **外的事象**については、**①設計経年化の着眼点の抽出の手法について検討している（地震、津波は検討完了。火災について検討している）。**

【ATENAガイドラインの評価フロー概要】

①設計経年化の着眼点の抽出

- ・内の事象については、設計情報の比較により着眼点を抽出。
- ・外的事象については、PRAやストレステスト等により着眼点を抽出。



②評 価

- ・①で抽出した着眼点毎に、PRA評価結果、PRAモデル化要素、安全解析等の観点から安全上の重要性を評価。



③対策案の検討

- ・評価された着眼点毎の安全上の重要性に応じ、対策案を検討。
- ・考え得る対策を幅広く抽出し、改善の効果と必要なリソースを整理。



④対策要否の検討及び実施

- ・個別プラント評価結果に基づく安全上の脆弱性、対策導入による効果およびリソースを総合的に勘案し、具体的な対策を検討し、採否を判断。



⑤継続的な評価

- ・事業者は、国内での新設計情報や海外の新知見等を活用し、継続的に評価を実施。

2-2 設計経年化管理に係る取組 ～評価の状況 (2/3)

- ✓ PRA評価（確率論的評価手法）、安全解析（決定論的評価手法）などを活用して評価し、影響度合いを分類整理する。以下の整理表イメージのとおり、設計差異の影響を3段階（有、軽微、無）に分類している。

<PWRにおける内的事象に係る評価（共通事項）の整理表イメージ>

着眼点 (設計差異)	PRA評価結果及び PRAモデル化要素	安全解析		その他、安全上の影響を評価できると考えられる視点		総合評価	対策案又は改善案
		(1)確率論的 リスク評価	(2)決定論的 安全解析	(3)放射線の 環境影響	(4)ヒューマン ファクタ		
RCPシャット ダウンシールの有無	CDFへの影響あり (数%~数10%)	1次冷却材 確保の点で安全 性向上に寄与する	影響なし	事故時の1次 系保有量に係わ る操作余裕に影 響あり	- (該当する知見なし)	影響有	案① RCPシャットダウン シールの導入 案② 運転員への教育 訓練の強化
高圧再循環時の取 水ライン構成	CDFへの影響は無視で きるほど小さい (<1%)	影響なし	影響なし	影響軽微	- (該当する知見なし)	影響軽微	設計差異に関する知見 を教育資料等へ反映
充てんポンプの構成	影響なし	影響なし	影響なし	影響なし	- (該当する知見なし)	影響なし	-

- ✓ 評価結果を踏まえ、影響度合いに応じ、必要な対策案を検討する（ハード対策に拘らず、ソフト対策の充実を考慮）。影響が軽微なものについても、費用対効果を踏まえつつ、積極的にソフト対策を行うことにより、安全性向上を図ることとしている。
 （ソフト対策として、抽出した知見を技術資料（教育資料等）へ反映し、運転員等の理解促進を図ることなどを考えている。）

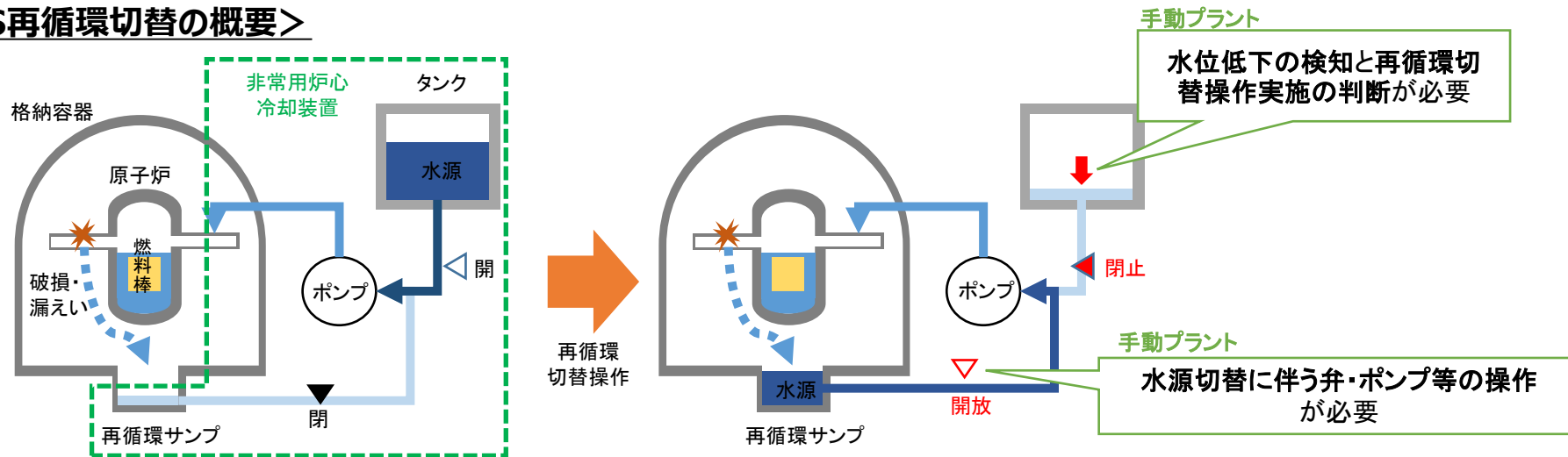
2-2 設計経年化管理に係る取組 ～評価の状況 (3/3)

- ✓ 一部PWR事業者においては、**内的事象の評価結果を安全性向上評価にて届出済み**である。
- ✓ 「古い炉を運転するための知識・経験の不足」は、設計の違いを踏まえて教育等が適切に実施されていることがポイントになるため、**設計の違いによる特徴を教育資料として取りまとめる取組を実施**している。

	関西電力（大飯3号機）第3回安全性向上評価届出書	九州電力（川内1号機）第6回安全性向上評価届出書
ハード対策	○ 大飯3号機では設計初期より対応済みもしくは既に設備対応により導入済であることから追加でのハード対策等が不要であることを確認した。	○ 安全性への影響有と評価した主な設計の差異は以下のとおりであり、設備対策については、今後継続検討する。 > 非常用炉心冷却設備再循環切替操作について、手動・半自動・自動切替の発電所がある。（川内については、手動切替） > 一部の発電所では1次冷却材ポンプにシャットダウンシールが導入されている。（川内については、未導入）
ソフト対策	○ 設計経年化評価から得られた知見の技術資料（教育資料等）への反映 他プラントとの設計差異に起因する、PRA等の事故に至る頻度や事故発生時の影響等の評価結果の差異を把握することが重要であることから、これらの知見を技術資料（教育資料等）に反映し、運転員・保修課員等の知識向上を促進。	○ 設計差異に対するソフト対策を以下のとおり実施する。 > 設計の経年化評価から得られた知見に関する技術資料の作成・共有 評価結果から得られた知見に基づく技術資料を作成し、関係者に共有する。これにより、川内1号機の安全性の特徴を理解し、これを改良工事等の設計で考慮することで、安全性向上の一助としていく。

【参考】ECCS再循環自動切替操作手段の差異についての影響評価（1/3）

<ECCS再循環切替の概要>



【各プラントにおける水源切替に伴う弁・ポンプ等の操作】

・自動：高浜3，4号機、大飯3，4号機　・半自動：敦賀2号機、泊3号機　・手動：その他プラント

(1) 確率論的リスク評価の影響確認結果…「影響あり」

- ✓ 再循環運転切替手段が異なることにより再循環運転切替に係る操作失敗確率に影響する。
- ✓ 自動方式では運転員操作がないため、再循環切替操作の失敗によるCDFへの寄与は0であるが、手動方式及び半自動方式では、LOCA時における運転員の操作失敗によるCDFへの寄与が 10^{-7} /炉年オーダーであり、自動方式を採用することで全CDFは数10%程度の低減が可能。

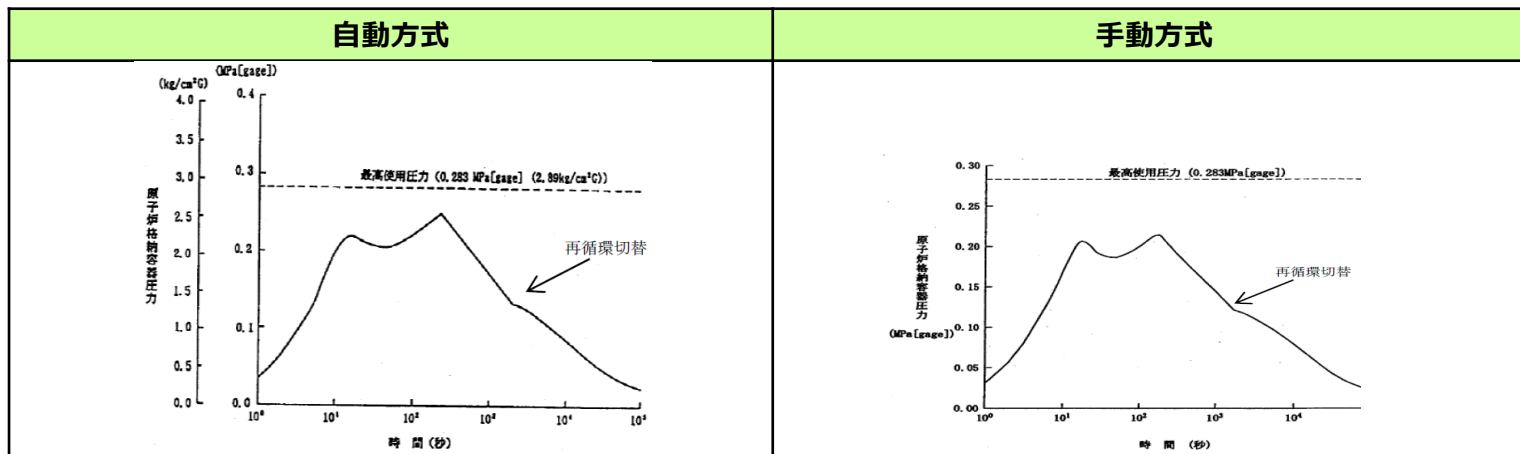
【参考】ECCS再循環自動切替操作手段の差異についての影響評価（2/3）

(2) 決定論的安全解析への影響確認結果

① DB/SA解析への影響確認結果…「影響なし」

- ✓ 設計差異が影響しうるDB事象としてLOCAがあげられるが、下図のとおり、再循環運転切替操作前に原子炉格納容器圧力は最大となり、切替操作時点では低下傾向となっているため、原子炉格納容器健全性については設計差異による影響を受けない。同様に、炉心冷却性についても、その評価指標である燃料被覆管最高温度は再循環運転開始前に発生するため影響を受けない。
- ✓ 設計差異が影響しうるSA事象として全交流動力電源喪失時のRCPシールLOCA等の再循環運転による長期冷却が必要な事故シナリオがあげられるが、切替操作手段の差異によっても1次冷却系への注水、格納容器再循環ユニットによる格納容器気相部冷却は連続的に行われるため、有意な影響はない。

原子炉格納容器最高圧力（大破断LOCA時）の比較



【参考】ECCS再循環自動切替操作手段の差異についての影響評価（3/3）

(2) 決定論的安全解析への影響確認結果（続き）

②放射線の環境影響（平常時被ばく評価）の確認結果…「影響なし」

- ✓ 平常時の被ばく評価において、ECCS再循環自動切替操作手段の設計差異は評価条件に影響するものではないことから、放射線の環境への影響はない。

(3) その他

①ヒューマンファクタへの影響確認結果…「影響あり」

- ✓ 自動方式プラントでは、RWST水位低警報が発信前に行う準備操作、RWST水位低警報発信の確認、半自動方式プラントで採用する再循環切替スイッチの投入操作、および、その後の再循環切替操作は、すべて自動化される。また、運転員は、自動切替後のラインアップ確認に集中することができ、半自動方式プラントに比べ、更に作業負荷の低減、ヒューマンエラー発生の低減に寄与する。この効果は、事故時の事象進展が早く、運転員の時間余裕が短い大破断LOCA事象で特に顕著になる。
- ✓ 以上より、ヒューマンファクタの観点からは、手動方式プラント、半自動方式プラント、自動方式プラントの順に、運転員負荷が小さくなり、ヒューマンエラー発生が抑制され、有意な影響があると評価。

②他プラントでの経験及び最新知見への影響確認結果…「影響なし」

- ✓ 高圧再循環時の取水方式の設計差異に関しては、他プラントでの経験及び最新知見において、設計差異の評価に影響するような知見はない。

2-3 製造中止品管理に係る取組 ～取組背景と実施状況

【従来の取組】

- 既設プラントの安全機能の維持・向上のために、原子力発電所を構成する機器・系統・構築物の保守管理を、定期的かつ計画的に行っている
- 運転開始以降、一部の部品やサービスが提供されなくなる事例が出てきているが、これに対しては、事前に調達先から製造中止等の情報を入手し、予備品の確保や代替品の開発、機器の取替等を行うことで、既設プラントの安全機能の維持、向上に取り組んでいる

- 今後、長期運転を行っていくにあたって、時間の経過に伴い、一部部品の製造中止や既存メーカーの撤退による事例が増加していくことが想定される
- このような状況が顕在化した場合においても、事業者は、既設プラントの安全機能の維持・向上に継続的に自主的に取り組んでいく

- 今後、**増加が予想される製造中止品への対応を確実にし、設備の機能を維持するために**、これまで主に発電所や担当部門単位で情報を入手し、対応を検討してきた取組を強化し、**事業者が製造中止品情報をプラントメーカー等から、継続的に入手・整備し、それを一元的に管理し、事業者が連携して対応する仕組みを、ATENAの自主ガイドライン（製造中止品管理ガイドライン）として取りまとめ。各社はガイドに基づき、適切な管理の仕組み・体制を構築し、運用中。**改正原子炉等規制法では、長期施設管理計画において製造中止品管理（技術の旧式化管理）について定め実施することとなっており、**申請事業者はATENAガイドに基づき実施する旨を同計画に記載。**

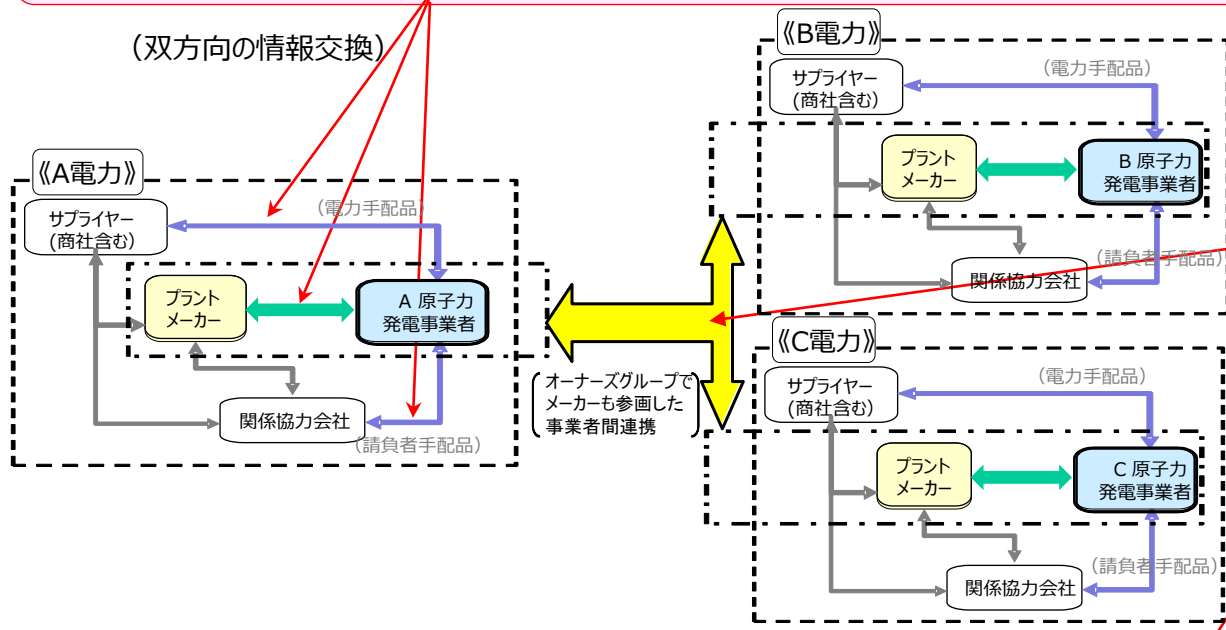
2-3 製造中止品管理に係る取組 ～具体的強化ポイント

【強化ポイント①製造中止品情報の入手】

[1] 事業者は、保守部品の製造中止品情報をプラントメーカ、サプライヤー等から受け取るだけでなく、自ら定期的に情報提供を依頼し、能動的に製造中止品情報を入手する。

【強化ポイント①製造中止品情報の入手】

[2] 事業者は、自社の調達部門、設計部門及びサプライチェーン等から製造中止品に関する情報を収集し、事業者間で情報提供（代替対応案含む）を行う。



【強化ポイント①製造中止品情報の入手】
[3] 事業者間で情報を共有することで、製造中止品情報を抜けなく把握する。

【強化ポイント②対策方針の策定】
[4] 入手した製造中止品情報について、プラントメーカー提示の代替対応案を踏まえ処置方針を明確にし、製造中止品管理リストを作成する。

【強化ポイント②対策方針の策定】
[5] 各社内で製造中止品管理担当者を設け、製造中止品管理リストを一元的に管理する。

No.	情報入手日時	情報提供元	機器名	対象ユニット (対象ユニットに○を記入する)				製造中止品 サービス名称	仕様 型式	製造 メーカー	供給 期限	【対応方針情報】 ・代替品有無 ・代替品仕様・型式 ・納期	対応方針
				N1	N2	U1	U2						
2019-01	2019XX XX	〇〇株式会社	エリア放射線モニタ(ARM)	○	○	—	—	放射線検出器(LLレンジ)	ABG-000199	〇〇電機工業	2021XXX X	・代替品有 ・型式ABG-0091-99 ・納期6ヶ月	代替品へのリブレースを順次実施

代替対応案

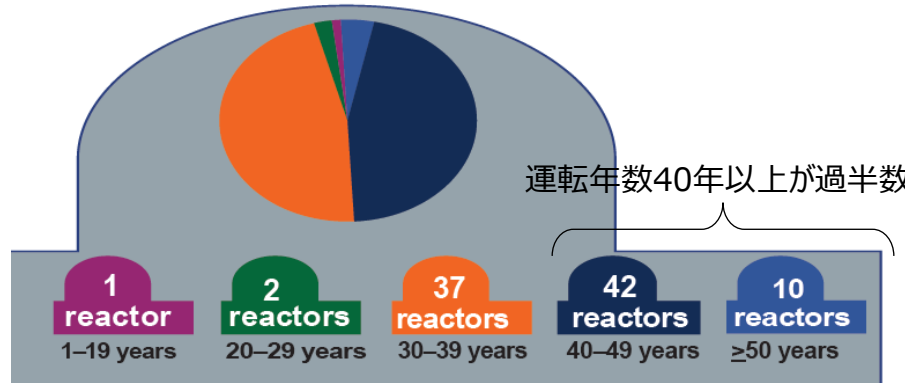
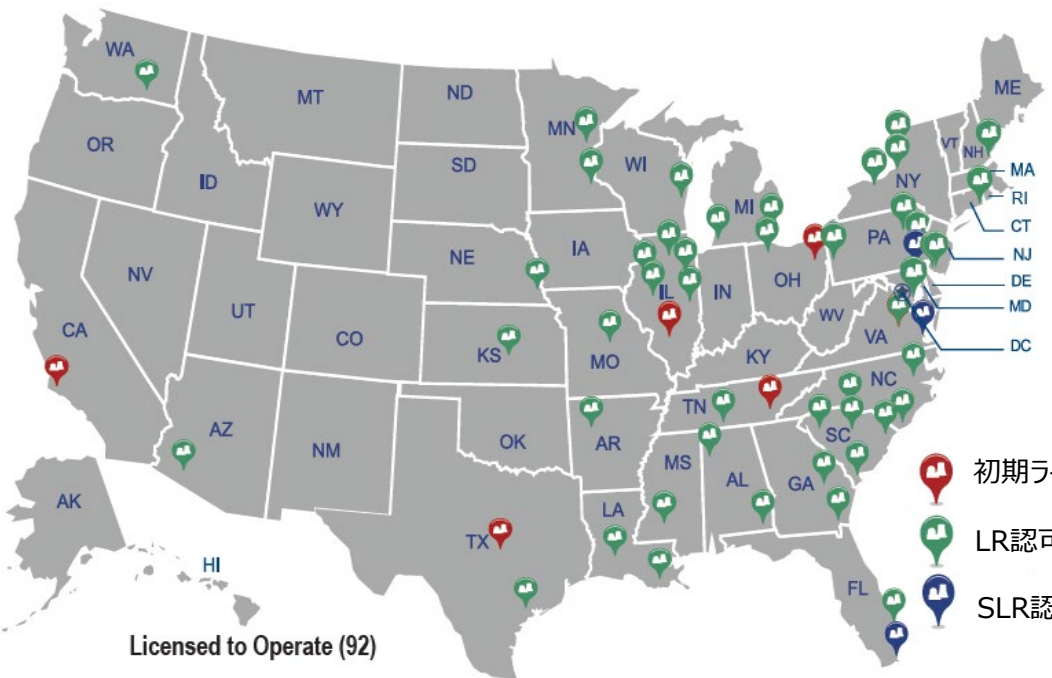
【強化ポイント③対策の実施】
[6] 保守管理対象（機器名）、対象ユニットと製造中止品情報（仕様・型式・製造メーカー・供給期限等）を紐付し、保全プログラムと連携する。

2-4 プラント運転中も含めた経年劣化管理に係る取組 (1/5)

<海外の長期運転状況：米国の例>

米国では運転中のほとんどの原子炉が60年運転認可を取得済みであり、また、多くの原子炉が80年運転を目指している。

- 運転中原子炉は94基(内訳：PWR63基、BWR31基)。なお、Vogtle-3が2023/7/31、Vogtle-4が2024/4/29に商業運転開始。
- 94基中、60年運転認可更新(License Renewal：LR)取得：78基、80年運転認可更新(Subsequent License Renewal：SLR)取得：6基、初期ライセンス：10基。
- SLR審査中は15基。また、16基が申請予定。

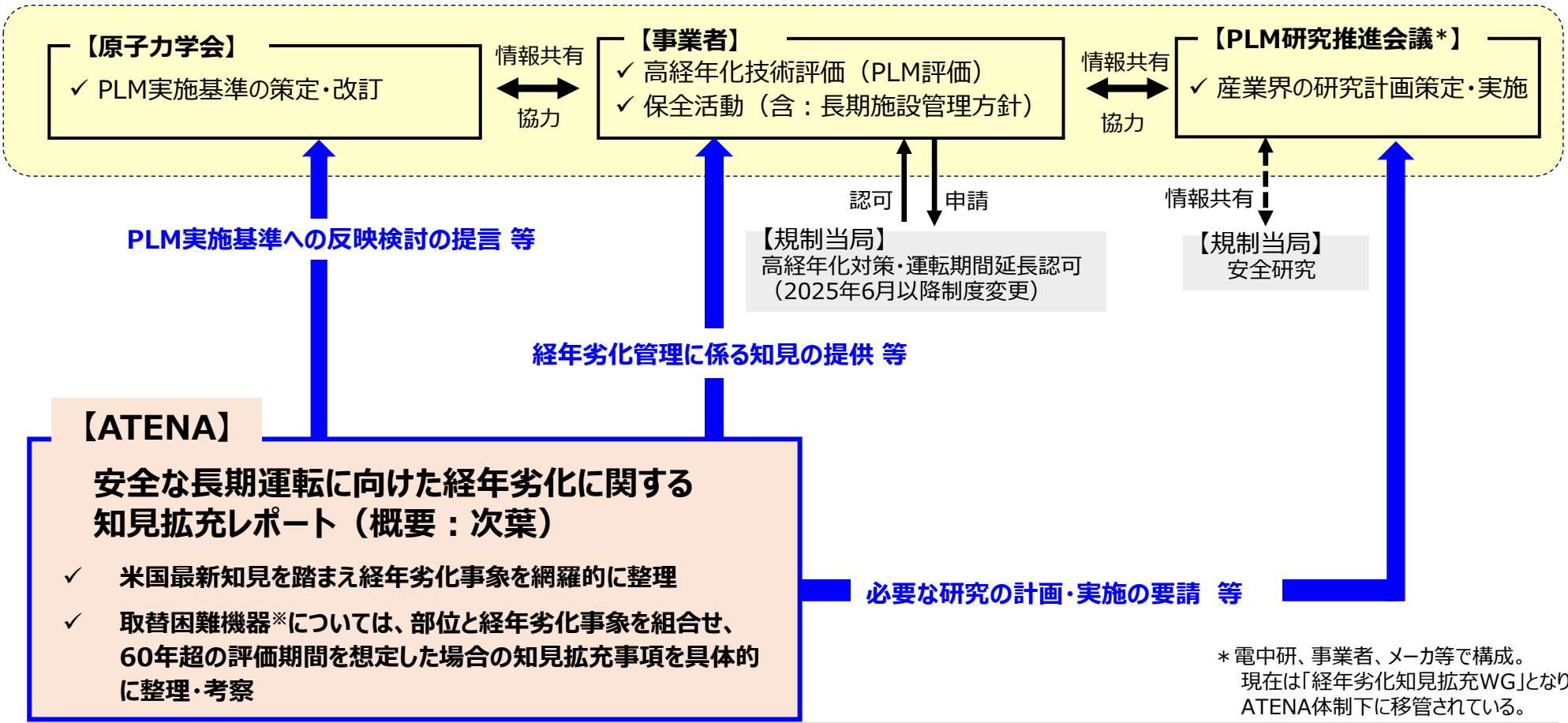


↑ 米国炉の運転年数別の基数* (2022年末時点。Vogtle-3、4は不含)

← 米国炉の運転認可取得状況* (2022年10月時点。Vogtle-3、4は不含)

2-4 プラント運転中も含めた経年劣化管理に係る取組 (2/5)

- 80年認可が行われている米国最新知見を参考に高経年化対策（PLM）実施基準に記載の無い経年劣化事象を抽出、また、取替困難機器※については、60年を超える評価期間を想定した場合の知見拡充事項を抽出し、レポートを取りまとめた（初版：2022/3，改定版：2024/6）。
- それらの知見拡充事項については、原子力学会、事業者、研究主体に対し提言等を行っていくとともに、その進捗をフォローしていくこととし、各組織において検討中／検討済の状況である。



* 電中研、事業者、メーカー等で構成。
 現在は「経年劣化知見拡充WG」となり
 ATENA体制下に移管されている。

2-4 プラント運転中も含めた経年劣化管理に係る取組 (3/5)

- 当該レポートでは以下の検討を実施し、各々の知見拡充事項を整理
 - ✓ 米国最新知見を踏まえた経年劣化事象を網羅的に整理 ⇒ PLM実施基準に無い経年劣化事象を抽出
 - 取替困難機器における80年評価を想定 ⇒ 評価にあたっての知見拡充事項を整理

<米国最新知見に照らし着目すべき経年劣化事象の抽出>

<国内で想定している経年劣化事象>

- 日本原子力学会PLM実施基準
- 各プラントPLM評価書

<米国の80年運転認可で想定している経年劣化事象>

- 80年認可標準審査指針 (NUREG2192 : SLR-SRP) *
- 80年認可劣化知見報告書 (NUREG2191 : SLR-GALL)
- 60年⇒80年認可変更個所の技術根拠 (NUREG2221)

比較・分析*

比較・分析の結果

PLM実施基準に記載の無い経年劣化事象として、ATENAレポート初版 (SLR-SRPのNew事項) では3件、同じく改定版 (SLR-SRPのModified事項) では2件を抽出。それらについては60年を超える事で顕在化する事象ではなく、過去国内実機損傷事例はないが、PLM実施基準への反映の検討について、原子力学会へ提言。⇒ 25

<取替困難機器の評価に係る知見拡充事項の整理 (80年の評価期間を想定) >

プラント運転期間に影響を及ぼす取替困難機器において部位と事象を組合せ、米国に倣い80年の評価期間を想定した場合に、従来のPLM評価手法で、科学的・技術的に評価可能か考察

望まれる知見拡充の取組を整理 (中性子照射脆化で2項目抽出) ⇒ 26

* : 米国SRPでは、60年運転認可から80年運転認可への更新事項が「New (新規追加)」「Modified (修正)」「Deleted (削除)」「Edited (編集)」に分類されており、ATENAレポート初版ではNew事項、同改定版ではModified事項について分析を実施

2-4 プラント運転中も含めた経年劣化管理に係る取組 (4/5)

米国最新知見 (SLR-SRP) に照らし着目すべき経年劣化事象の抽出結果

60年超特有な事象ではないと考えられるものの、日本原子力学会へPLM実施基準への反映の検討について提言。
 (そのうち、ATENALレポート初版で纏めたSLR-SRPのNew事項からの抽出結果については、PLM実施基準2023追補3に反映済)

	PLM実施基準に記載が無い事項		左記項目に対する状況
	設備	事象	
SLR-SRP New事項関連	アルミ合金使用機器	孔食 隙間腐食 SCC	<ul style="list-style-type: none"> 国内で本事象による損傷事例は確認されていない。 各プラントのPLMでは、プールでの使用環境に照らし隙間腐食を評価対象に挙げ、プール水の塩化物濃度管理を行った上で点検・保全を実施。
	チタン合金使用熱交換器伝熱管	SCC	<ul style="list-style-type: none"> 国内で本事象による損傷事例は確認されていない。 各プラントのPLMでは、海水等の使用環境に照らし、スケール付着等を念頭に点検・保全を実施。
	炭素鋼製機器	埋設環境下で炭酸塩、重炭酸塩に曝される事によるSCC	<ul style="list-style-type: none"> 国内の原子力発電所の土壌は、炭酸塩、重炭酸塩に曝される土壌ではない。 国内で本事象による損傷事例は確認されていない。 米国においては、石油プラント等の埋設配管で炭酸塩に拠る割れが過去検出された例があることからSLR-SRPに取り込まれた項目であり、原子力発電所での損傷事例は無し。
回Modified事項関連	チタン合金使用機器	土壌／コンクリートに曝された場合の孔食及び隙間腐食	<ul style="list-style-type: none"> 国内で本事象による損傷事例は確認されていない。 従来のPLM評価の実績では、国内の原子力発電所で土壌／コンクリートに曝されるチタン合金機器は見当たらない。
	15%以上の亜鉛を含む銅合金	ほう酸水漏えい時の腐食	<ul style="list-style-type: none"> ほう酸水の漏えいが原因で、15%以上の亜鉛を含む銅合金設備が2次的損傷を受けた国内事例は確認されていない。 米国では、漏えいしたほう酸水を念頭において本事象を取り上げている一方、従来の国内PLM評価においては、ほう酸水の漏えいを前提とした経年劣化評価は実施していない。

2-4 プラント運転中も含めた経年劣化管理に係る取組 (5/5)

取替困難機器に対し、評価期間80年想定で必要と考えられる知見拡充事項

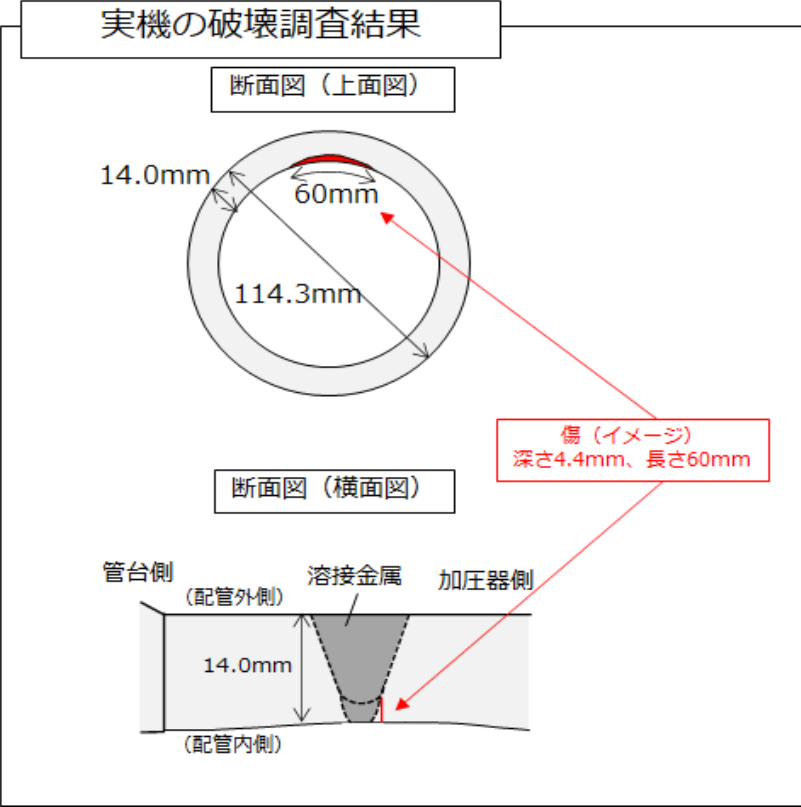
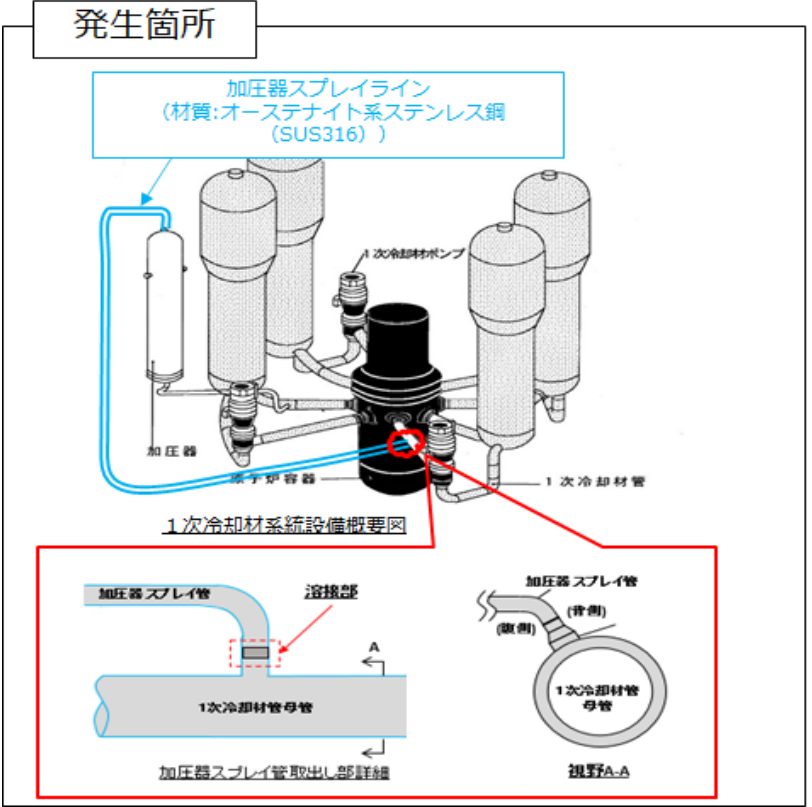
現状のPLM評価手法・データで80年の評価期間を想定した場合に、知見拡充が必要と考えられる事項は以下のとおりであり、ATENA「経年劣化知見拡充WG」を通じて検討を推進していく。

機器	事象	概要
原子炉圧力容器	中性子照射脆化	<p><JEAC4201の適用上限見直し></p> <ul style="list-style-type: none"> • 現行のJEAC4201におけ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式には中性子照射量の適用上限がある。 • 個別プラントの稼働率等に依存するものの、80年の評価期間を想定する場合は、適用上限を超える照射量を受けるプラントが出てくる可能性があり、引続き監視試験等による高照射領域のデータの拡充を行い、必要に応じJEAC4201の適用上限拡大に資する。
		<p><監視試験片再生等></p> <ul style="list-style-type: none"> • 建設時に装荷した監視試験片数には限りがあり、80年を想定する場合には監視試験片を十分に確保するため、使用済試験片の小型化再生や監視試験計画の高度化等、試験片の有効活用やその試験結果のデータ検証等について検討する。

2-5 PWR1次系ステンレス鋼配管粒界割れの知見拡充 (1/2)

事象の概要

- 2020年8月31日に配管の健全性を確認するために、大飯3号機において加圧器スプレイ配管の超音波探傷試験を実施したところ、1次冷却材管と加圧器スプレイ配管の接続部付近において有意な信号指示が認められた。
- その後の破壊調査により、溶接熱影響部にて深さ4.4mm、長さ60mmの亀裂があることが明らかとなった。



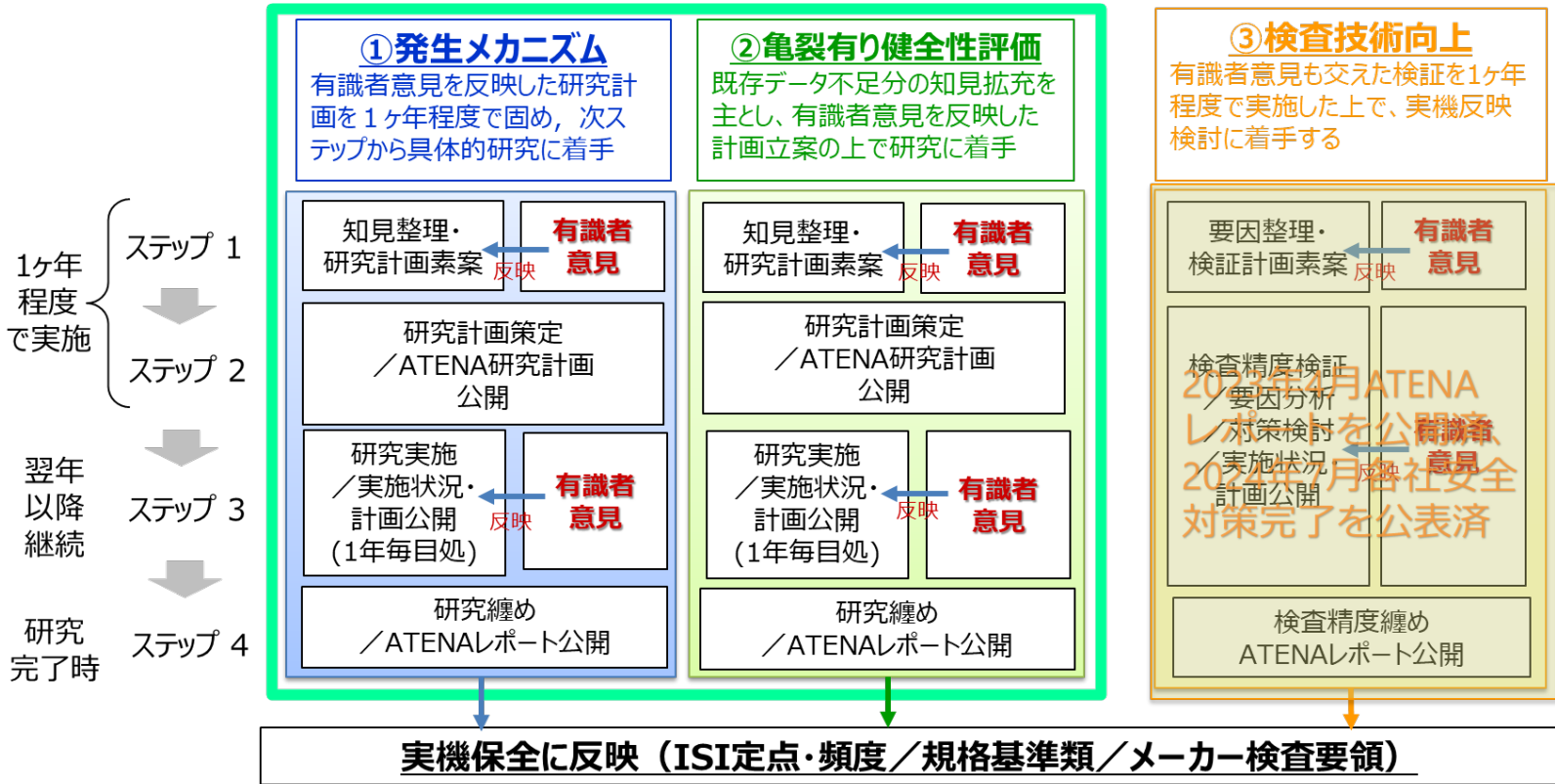
実機対応状況

- 大飯3号機の当該配管は新材に取り替えたのち運転に復帰し、現在も通常通り運転中。
- また、類似性があると考えられる水平展開部位に対し、PWR各プラントで3定検連続で超音波探傷試験を実施中。(2024年7月時点で、延べ896箇所を検査したが、有意な指示は無し)

2-5 PWR1次系ステンレス鋼配管粒界割れの知見拡充 (2/2)

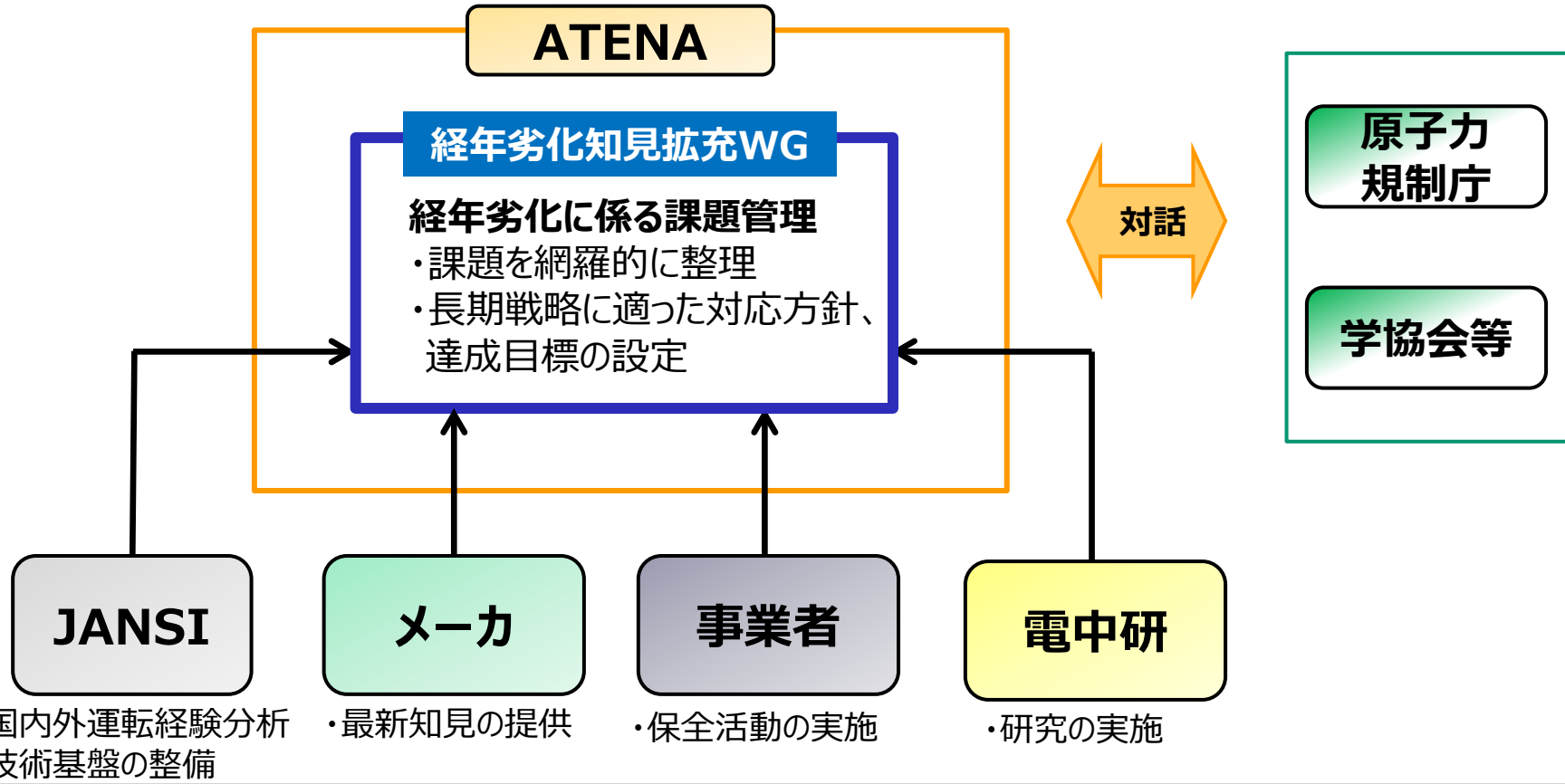
- PWR1次系環境下のステンレス鋼における粒界割れ事象は、実機事例が極めて少なく、発生に関するラボデータも極めて少ない事象であり、今後の原子力発電所の安全性・信頼性を確保するため、**産業界で取り組むべき共通的技术課題とATENAは認識。**

技術課題は大きく分けて「①発生メカニズムの解明」、「②亀裂がある場合の健全性評価」、「③検査技術の向上」の3分類であると整理。①及び②は**外部有識者を交え知見拡充に向けた取組を実施中**。③はレポート公開、安全対策完了済。



2-6 ATENAを中心とした経年劣化に係る今後の取組

- ✓ 長期運転を見据えた安全・安定運転のための取組みとして、産業界一体で経年劣化管理に関する諸活動（最新知見の収集、運転経験の分析、規格策定、研究開発等）を戦略的・体系的に行っていくために、ATENAに関係機関で構成する「経年劣化知見拡充WG」を設置。
- ✓ 本WGでは、最新知見・運転経験等を踏まえた課題を網羅的に整理の上、産業界大の活動の方向性と達成目標を設定し、目標達成に向けて各種取組みを計画的に実施していく。



目次

1. ATENAについて

1-1 ATENAの概要

1-2 安全性向上に対する基本方針

2. 安全な長期運転に向けた経年劣化管理に関するATENAの取組

2-1 プラント長期停止期間中における保全に係る取組

2-2 設計経年化管理に係る取組

2-3 製造中止品管理に係る取組

2-4 プラント運転中も含めた経年劣化管理に係る取組

2-5 PWR1次系ステンレス鋼配管粒界割れの知見拡充

2-6 ATENAを中心とした経年劣化に係る今後の取組

3. まとめ

3. まとめ

- ATENAは、長期運転に関するこれまでの国内の経年劣化管理の取組みと海外知見を比較分析し、物理的な劣化／非物理的な劣化に係る各々の取組みを強化してきた。
- 国内では40年の運転期間を経験したプラントも現れ、経年劣化事象の知見は蓄積しつつあるものの、経年劣化に関する知見は常に更新・拡充していくべきものである。
- この見地に立ち、引続き長期運転における経年劣化管理に関する取組みを継続し、プラントの安全性の維持・向上に貢献していく。

(参考) 共通技術課題 (テーマ) 一覧

技術課題	テーマ
① 新知見・新技術の積極活用	原子力発電所の計測制御設備に関する電磁両立性 (EMC) への対応 東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析から得られた知見への対応 デジタル安全保護系のソフトウェア共通要因故障への対応 1相開放故障 (OPC) 事象への対応 SA設備の重要度分類に応じた効率的・効果的運用の推進 燃料高度化の促進 地盤液状化現象の評価手法の高度化
② 外的事象への備え	震源を特定せず策定する地震動の見直しへの対応 自主的安全性向上対策導入の促進に向けた対応 不確かさの大きい自然現象への対応 新知見によるSs見直しの際の対応方針の策定
③ 自主的安全性向上の取り組みを促進するしくみ	新検査制度の制度運用関連ルール作り 運転中保全 (OLM) の範囲拡大に向けた取り組み 革新軽水炉の基本的な考え方の検討 安全な長期運転に向けた経年劣化管理の取組
④ その他	EAL (原子力緊急時活動レベル) の見直しへの対応 PWR1次系ステンレス鋼配管粒界割れの知見拡充 柔軟な運転サイクル導入のための取組み クリアランス認可申請の標準化に向けた取組 米国標準技術仕様書 (STS) 改定内容の保安規定等への反映に向けた取組

(参考) 技術レポート発刊実績および予定

2019年度		(発刊日)
○国内原子力発電所における非常用ディーゼル発電機不具合の傾向と改善策について		(2019年6月21日) (Rev.1 2019年11月7日)
○原子力規制検査において活用する安全実績指標 (PI) に関するガイドライン		(2019年6月28日)
○原子力発電所におけるサイバーセキュリティ対策導入自主ガイド		(2020年3月12日)
2020年度		(発刊日)
○事業者検査に関する運用ガイドライン		(2020年7月31日)
○プラント長期停止期間中における保全ガイドライン		(2020年9月25日)
○設計の経年化評価ガイドライン		(2020年9月25日)
○製造中止品管理ガイドライン		(2020年9月25日)
○免震構造設計ガイドライン		(2020年9月29日)
○製造業者不適切行為の抑止及び発生時の対処ガイド		(2020年10月28日)
○デジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障緩和対策に関する技術要件書		(2020年12月24日)
2021年度		(発刊日)
○安全な長期運転に向けた経年劣化に関する知見拡充レポート		(2022年3月25日)
2022年度		(発刊日)
○多様な設備による安全性向上のための保安規定改定ガイドライン		(2022年7月29日)
○デジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障緩和対策に関する技術要件書		(Rev.1 2022年10月5日)
○原子力規制検査において活用する安全実績指標 (PI) に関するガイドライン		(Rev.1 2023年3月2日)
○電磁両立性 (EMC) に係る原子力発電所における今後の対応方針		(2023年3月31日)
2023年度		(発刊日)
○PWR1次系ステンレス鋼配管粒界割れ 超音波探傷試験による亀裂性状把握手法の向上策		(2023年4月28日)
○設計の経年化評価ガイドライン		(Rev.1 2023年6月6日)
○BWRの原子炉建屋の水素防護対策に係るAMG改定等ガイドライン		(2023年6月13日)
○原子力規制検査において活用する安全実績指標 (PI) に関するガイドライン		(Rev.2 2023年7月7日)
2023年度		(発刊日)
○安全な長期運転に向けた経年劣化に関する知見拡充レポート		(Rev.1 2024年7月23日)
発刊予定		
○液状化評価手法の高度化に関する報告書 (仮称)		

参考：略語集

GALL	Generic Aging Lessons Learned	経年劣化管理教訓集
JANSI	Japan Nuclear Safety Institute	原子力安全推進協会
JEAC	Japan Electric Association Code	(日本電気協会) 電気技術規程
NRC	Nuclear Regulatory Commission	米国原子力規制委員会
NUREG	Nuclear Regulatory Guide	米国原子力規制委員会規制指針
PLM	Plant Life Management	プラントライフマネジメント (便宜上、本資料では高経年化技術評価をPLM評価、高経年化対策実施基準をPLM実施基準と略す)
SCC	Stress Corrosion Cracking	応力腐食割れ
SLR	Subsequent License Renewal	2回目の運転認可更新
SRP	Standard Review Plan	標準審査指針
WG	Working Group	ワーキンググループ