

安全な長期運転に向けた経年劣化管理の取組

2019年12月2日
原子力エネルギー協議会

1. はじめに
2. 経年劣化管理の取組：現在
 - 2 – 1. 保守管理
 - 2 – 2. 高経年化技術評価
3. 経年劣化管理に関するATENAの取組方針
 - 3 – 1. 長期停止期間の経年劣化管理
 - 3 – 2. 設計古さへの対応
 - 3 – 3. 製造中止品等への対応
4. まとめ

1. はじめに

事業者は、これまでプラントの安全性を維持・向上させるために、主に腐食や疲労等の経年劣化（物理的な経年劣化）に対して、最新知見を反映した評価も踏まえた保全を行うことで、経年劣化を管理してきた。また、既設プラントの設計面に対しては、新規制基準への適合やバックフィットへの対応、ならびに、自主的な安全性向上の取組を行っている。

一方で、一部のプラントでは40年超運転の延長認可を原子力規制委員会（NRA）から受けたところもあり、各プラントが今後の長期運転^{*1}を安全に進めていくために、また、長期停止期間が大幅に長期化している状況にも的確に対応していくためにも、経年劣化への対応は、ますます重要性を増している。

こうした状況を踏まえ、原子力エネルギー協議会（ATENA）は、各プラントにおける今後の長期運転を安全に進めていくため、物理的な経年劣化と、更に、暦年の経過とともに最新の技術や知見、設計から時代遅れになること（非物理的な経年劣化：Obsolescence）の両面から経年劣化管理の全体像とその対応について検討するとともに、必要な取組をガイドラインに取りまとめ、各事業者に対して取組の強化を要求していく。

長期運転の更なる安全性向上に向けて、経年劣化管理の全体像について検討し、ATENAによる物理的な劣化管理および非物理的な劣化管理の取組について、検討状況・取組方針を説明する。

*1：認可を受けて運転期間制度で定められた40年を超えて運転すること。

2. 経年劣化管理の取組：現在

- 事業者は、発電用原子炉施設の安全機能を維持・向上していくために、保守管理と経年劣化評価の取組により、物理的な劣化に対する管理を行っている。
- 保守管理**：現在、発電用原子炉施設の機器・設備に対して、点検、保修、取替、予防保全等の保全を実施することで、これら設備の経年劣化を管理しており、また、最新の運転経験等を考慮して保全の計画・実施・評価・見直しのPDCAサイクルを回しながら、継続的な改善に取り組んでいる。 ⇒ 5

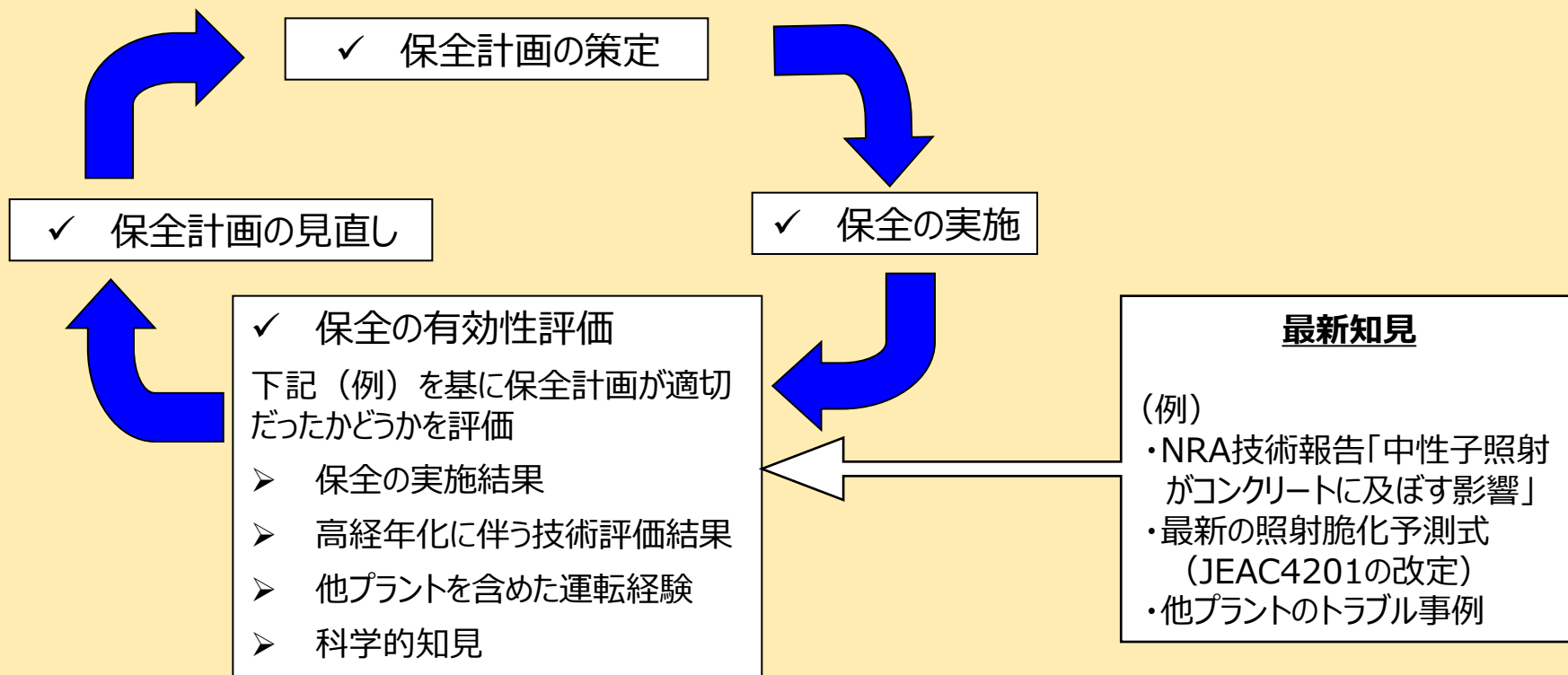
震災後の長期停止期間中においても、停止中の機器の使用状態、停止期間中の劣化を考慮した上で、特別な保全計画を策定し、同様の保守管理を行っている。

- 高経年化技術評価**：運転開始から30年を経過するプラントについては、通常運転の状態および停止中の状態を考慮した高経年化技術評価を実施することで、長期運転に向けて現状保全の有効性を評価し、その結果を保全に反映する取組を行っている。 ⇒ 6

2 - 1. 経年劣化管理の取組：保守管理

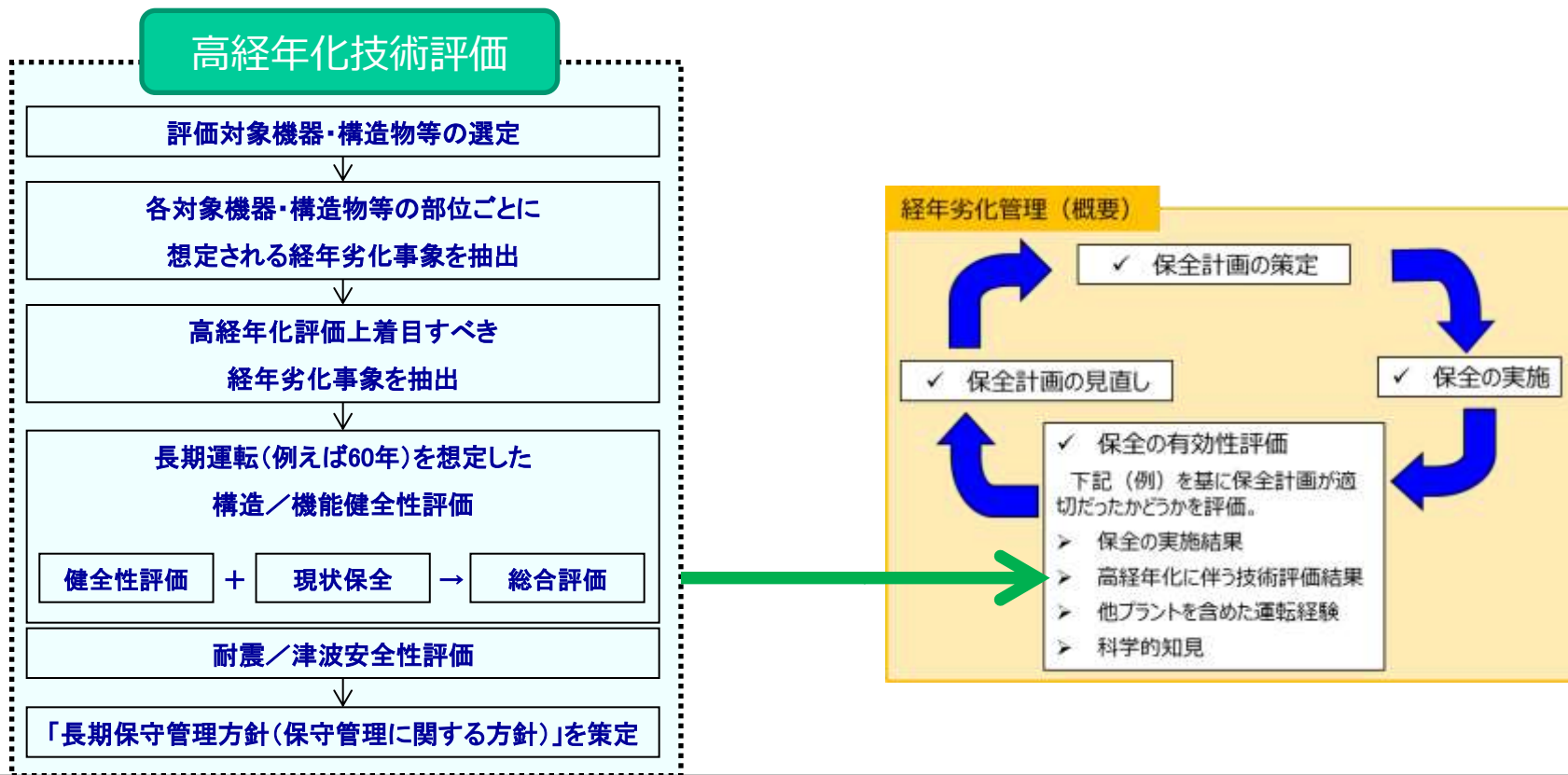
- 発電用原子炉施設の機器・構造物の安全機能維持のため、保全の計画策定、実施、有効性評価、見直しのPDCAサイクルを回しながら経年劣化管理している。
- 研究知見やトラブル情報等の最新知見の反映を適宜行うとともに、技術的な評価手法の精度向上についても継続して取り組むことで、最新知見を考慮した評価に適宜更新している（【参考1】参照）。

経年劣化管理（概要）



2-2. 経年劣化管理の取組：高経年化技術評価

- 運転開始後30年を経過するプラントにおいては、最新知見を踏まえて、長期運転の劣化を想定した評価を実施している。
- 評価の結果については、追加保全の要否を検討し、経年劣化管理に反映している。
- また、評価にあたっては、長期停止を考慮した評価（冷温停止状態が維持されることを前提とした評価）も実施し、保全に反映している。



3. 経年劣化管理に関するATENAの取組方針（1/3）

- ATENAは、各プラントにおける今後の安全な長期運転に向けて、また、長期停止が大幅に長期化している状況にも的確に対応していくため、IAEAガイド*²も参照し、物理的な経年劣化、及び、非物理的な経年劣化の両面から、経年劣化管理の全体像とその対応について検討するとともに、必要な取組をガイドラインに取りまとめ、各事業者に対して以下の3項目の経年劣化管理の取組の強化を要求していく。

*2 : 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）

① 「物理的な経年劣化」管理の取組

＜長期停止期間中の劣化評価を考慮した特別な保全計画＞

- ✓ 長期停止期間は大幅に長期化。将来の安全な長期運転のためには、長期化する停止期間中から劣化管理を確実にを行い、将来の機器の寿命に影響を与えない取組が重要。
- ✓ 停止期間中の状態を考慮した保全計画（特別な保全計画）策定の基本的な考え方を、ATENAガイドとして取りまとめ、事業者の停止期間中における確実な劣化管理の取組を要求していく。

3. 経年劣化管理に関するATENAの取組方針（2/3）

② 「非物理的な経年劣化」管理の取組

<設計古さの管理>

- ✓ 長期運転を進めて行くにあたり、暦年の経過とともに、プラントの安全設計の考え方は変遷していく。
- ✓ 長期運転をより安全に進めていくために、既設プラントの設計に安全上の改善の余地がないかという観点から、その時点の最新プラントと自社プラントを比較して安全設計上の差異を抽出し、これに対して効果的な安全性向上策を検討することについてATENAガイドとして取りまとめ、事業者の自主的かつ継続的な安全性向上の取組を要求していく。

<製造中止品等の管理>

- ✓ 長期運転に伴い、計画的な保全に必要な部品やサービスが調達先から提供されなくなる懸念がある。
- ✓ 長期運転を安全かつ安定的に進めるため、ATENAガイドを取りまとめ、製造中止品情報の定期的な入手や、プラントメーカーや事業者間での情報共有等、製造中止品等に関わる情報を効率的に収集し、対策を検討する産業界の仕組みを構築していく。

3. 経年劣化管理に関するATENAの取組方針（3/3）

長期運転を安全に進めるため、腐食等の「物理的な経年劣化」への取組だけでなく、設計が古くなる等の「非物理的な経年劣化」への取組も自主的、かつ、継続的に進めて行く。

取組事項	事業者の取組状況
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">物理的な劣化</p> <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 最新知見を反映した定期的な経年劣化評価（PLM評価） 評価手法の継続的な高度化（照射脆化予測手法[JEAC4201]の見直し） <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） <p>大部分の機器は不使用</p> <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 <p>一部の機器は使用</p> <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 style="text-align: right;">ATENAによる新たな取組（方針）</p> <p>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 style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">非物理的な劣化</p> <p>最新知見の反映（設計古さ対応）</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>「設計の古さ」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>製造中止品等への対応</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</p> <p>プラントメーカー・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>

3 - 1. 長期停止期間の経年劣化管理 (1/2)

【現在の取組状況】

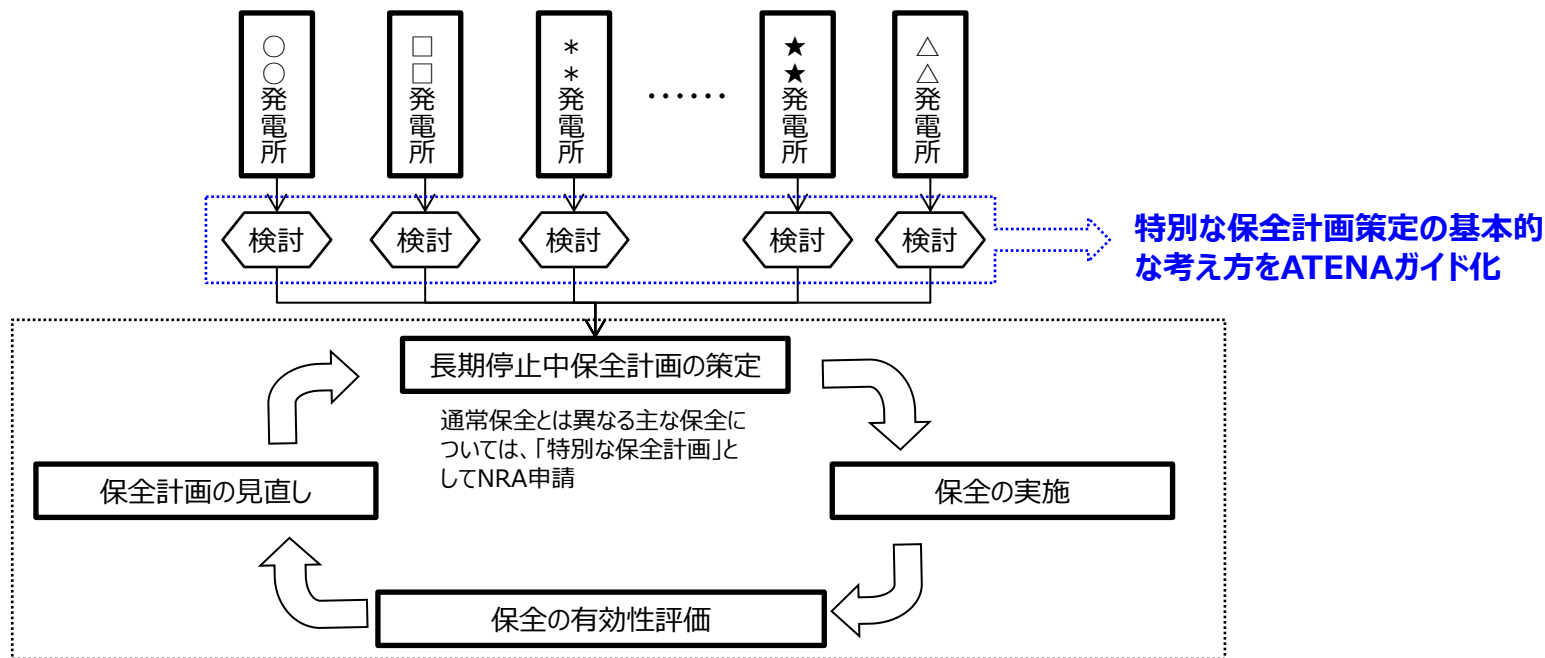
- 長期停止中の経年劣化は有意ではないことを、原子力発電所の運転期間と機器・構造物の経年劣化影響に関する技術レポート、高経年化技術評価（冷温停止状態が維持されることを前提としたもの）により評価し確認。
 - ✓ 長期停止期間中は、原子炉容器など大部分の機器を使用していない。これらは適切に保管することにより、あるいは、照射脆化のように、停止中に劣化は進まない。
 - ✓ 停止期間中に使用している一部の機器は、保全（点検や補修、取替）により劣化を管理することで、機器の機能は維持されることにより、設備の寿命に影響しない。
- なお、停止中状態を考慮した保全計画については、「特別な保全計画」として、炉規法に基づきNRAに申請。

- 長期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行うことは、今後の安全な長期運転のためにも重要な取組。

3-1. 長期停止期間の経年劣化管理 (2/2)

【今後の取組方針 (案)】

- 現在、停止中の状態を考慮した保全計画は、各事業者で個別に策定。
- ATENAは、長期停止期間中の経年劣化評価結果も踏まえ、長期停止中の保全計画策定の基本的な考え方をガイドとして作成。



- ATENAは、各事業者に対して、今後はATENAガイドに基づき各発電所の停止中の保全計画を策定するよう求める。
- 事業者は、ATENAガイドを踏まえて、見直しが必要な場合、停止中の保全計画に反映する。必要により炉規法に基づく「特別な保全計画」の申請に反映する。

3-2. 設計古さへの対応 (1/2)

【現在の取組状況】

- 最新プラントと比べて型式等が古いプラントにおいても、バックフィットを含む最新の規制基準へ適合させ、プラント設計の改善を図っている。
- 更に、事業者の自主的安全性向上活動として、定期安全レビュー（PSR）や安全性向上評価制度の枠組みの中で、最新プラントの設計等との比較により安全・系統設計の反映に、これまでも取り組んでいるところ。その取組の一環として、例えば、サプレッションプール水のPH制御や代替循環冷却系の導入（BWR）、RCPシャットダウンシールの導入（PWR）のように、プラント設計に関する最新知見と照らして、安全・系統設計を改善することで安全性向上を図ってきている。

- 今後、長期運転を行っていくにあたり、時間の経過に従ってプラント設計そのものの知見が新しくなっていくことが想定される。
- それに伴い、既設プラントの設計が「古く」なっていくが、新しい知見を踏まえて既設プラントの設計に改善の余地がないか、確認していくことは重要。

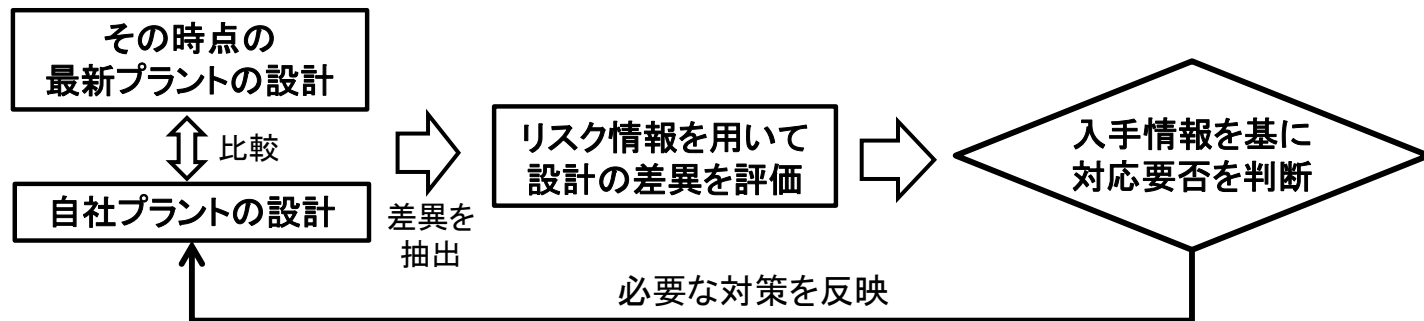
3-2. 設計古さへの対応 (2/2)

【今後の取組方針 (案)】

- 基準適合を前提として、今後の安全な長期運転に向けて、経年により生じる設計の古さを特定し、継続的に安全設計の改善を展開するための仕組みを新たに構築する。

[具体的な取組]

- 時間の経過に伴い、既設プラントの設計に安全設計上の改善の余地がないかという観点から、その時点の最新プラントと自社プラントを比較し、安全設計上の差異を抽出する。
- 抽出した差異に対して、最新知見やリスク情報を用いて安全に対する影響度合いや改善の効果を確認し、必要に応じて対策を検討する。



- 事業者は、ATENAガイドを踏まえて、設計古さの管理に係る取組を、継続的な安全性向上活動に取り入れていく。

3-3. 製造中止品等への対応 (1/4)

【現在の取組状況】

- 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、事前に保守点検の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ところ。

- 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。

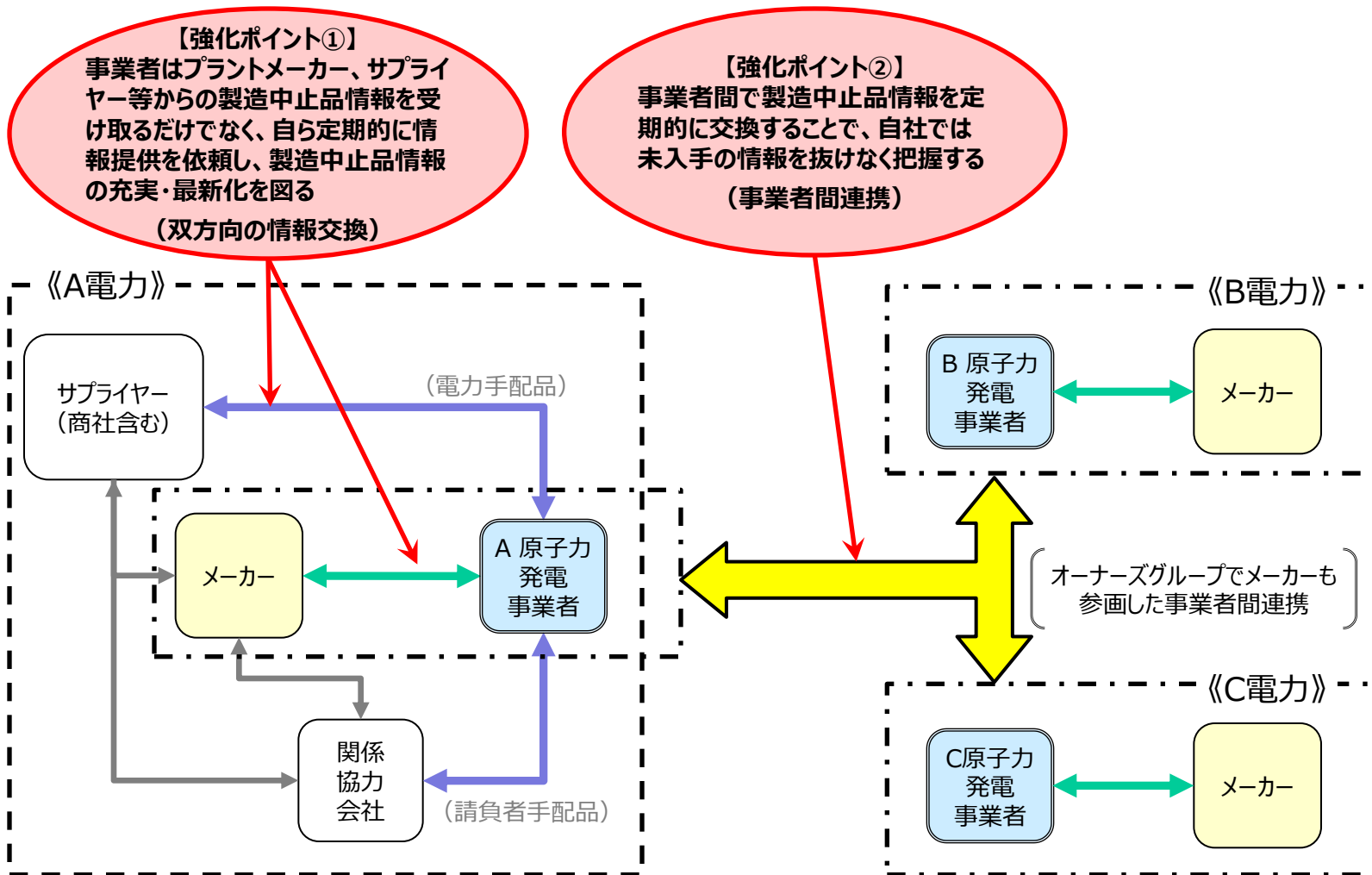
【今後の取組方針（案）】

- 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入手し、対応を検討してきた取組を強化。
- 事業者が製造中止品情報をメーカー・サプライヤー・関係協力会社から、継続的に入手・整備した上で一元的に管理し、また、事業者が連携して対応する仕組みを新たに構築する。

[具体的な取組]

- 各事業者は、保守部品の製造中止品情報をプラントメーカー・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入手する。 ⇒ 16
- 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。 ⇒ 16
- これら製造中止品情報は、各社の保全プログラムにおいて、保守管理を行う機器と紐付けた情報として整備する。また、これら情報は、各社内で責任箇所を決め、一元的に管理する。 ⇒ 17
- 一元的に管理した情報をベースとし、予備品の確保、代替品の検討等の先手の対応を行う。また、各社共通の課題に対しては、各社が連携して取り組む。
- これら取組は、ATENAの自主ガイドラインとして取りまとめ、事業者に対して、継続的な安全性向上の取組を要求していく。

製造中止品情報の入手に係る強化ポイント（各社対応、事業者間連携のイメージ）



3-3. 参考：製造中止品等への対応（4/4）

事業者が製造中止品情報の一元管理のために用いるリスト（製造中止品管理リスト）の例

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	【対応方策情報】 ・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 (LLLレンジ)	ABC-0001-99	〇〇電機工業	2021 XXX X	・代替品有 ・型式:ABC-0091-99 ・納期:6ヶ月	代替品へのリブ レースを順次実 施

【強化ポイント①】
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
(保全プログラムとの連携)

【強化ポイント③】
各社内で製造中止品管理に係る責任箇所を定め、一元的に管理

【強化ポイント②】
対応方針を含めて製造中止品管理リストを作成
(処置方針の明確化)

4. まとめ

- ATENAは、安全な長期運転に向けて、物理的な経年劣化と非物理的な経年劣化の両面から必要な取組をガイドラインに取りまとめ、各事業者に対して取組の強化を要求していく。
- 今後、長期運転の安全性向上のために、運転時間の経過とともに設備がどのように劣化するのかを把握・管理し、また、継続的な安全性向上に取り組んでいくことは、原子力規制委員会および事業者双方にとって重要と認識。

安全な長期運転に向けた経年劣化管理に係るATENAの取組について、ATENAと技術的な議論を行う場を設けていただきたい。

また、長期停止期間中の経年劣化や設計古さの管理を含めた取組について、議論の結果を取りまとめ、原子力規制委員会の見解を得て、事業者との共通認識とさせていただきたい。

取りまとめた議論の結果も踏まえて、ATENAは、経年劣化管理の取組を進めていく。事業者はATENAのガイドラインを踏まえて、自らの安全性向上に取り組むとともに、原子力規制委員会への「特別な保全計画」の申請、「安全性向上評価書」の届出にも活用していく。

(議論の項目) ATENAの経年劣化管理に関する取組：3回の会合での説明を想定

- ・ 物理的な劣化管理の取組（長期停止期間中における経年劣化を考慮した保全）
- ・ 非物理的な劣化管理（設計古さへの対応、製造中止品等への対応による継続的な安全性向上）
- ・ まとめ

【参考資料】

【参考 1】 原子炉圧力容器の保守管理 (1/2)

- 原子炉圧力容器は、炉心、冷却材等を内包し、原子炉冷却材圧力バウンダリ機能を有する容器であり、事故状態（炉心損傷防止のための炉心冷却等）においても健全性の確保が必要な安全上重要な機器。
- 原子炉圧力容器については、経年劣化も考慮した予防保全や継続的な検査などの保全を行うことで健全性を確保。
- 着目すべき経年劣化モードである照射脆化に対しては、監視試験による機械特性の確認や、将来の脆化傾向の継続的な評価により健全性を確認。また、評価のための学協会規格も継続的な精度向上に取り組んでいるところ。

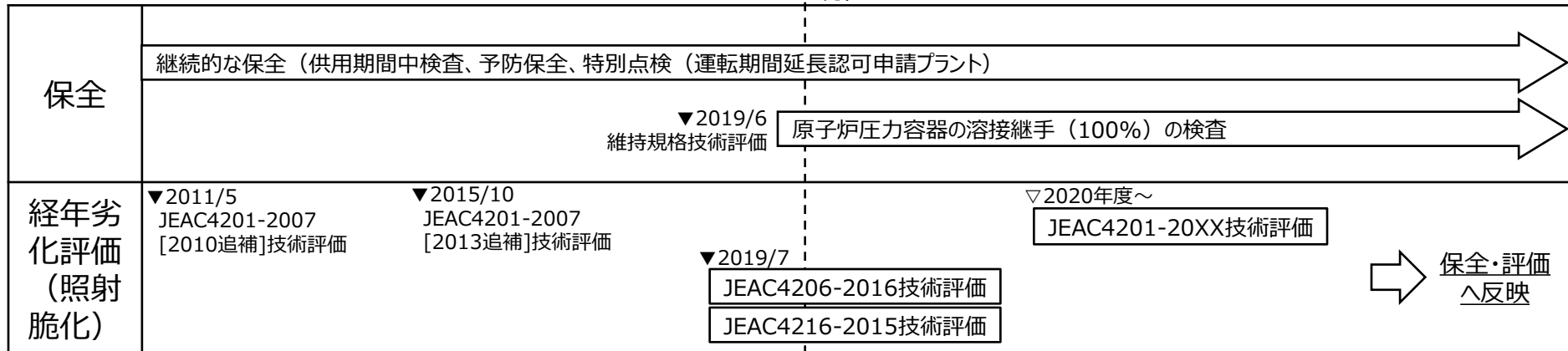
保全

経年劣化評価

- ✓ 検査
 - 建設時検査（材料検査等）
 - 供用期間中検査
 - 特別点検（40年）
- ✓ 予防保全（ピーニング等）



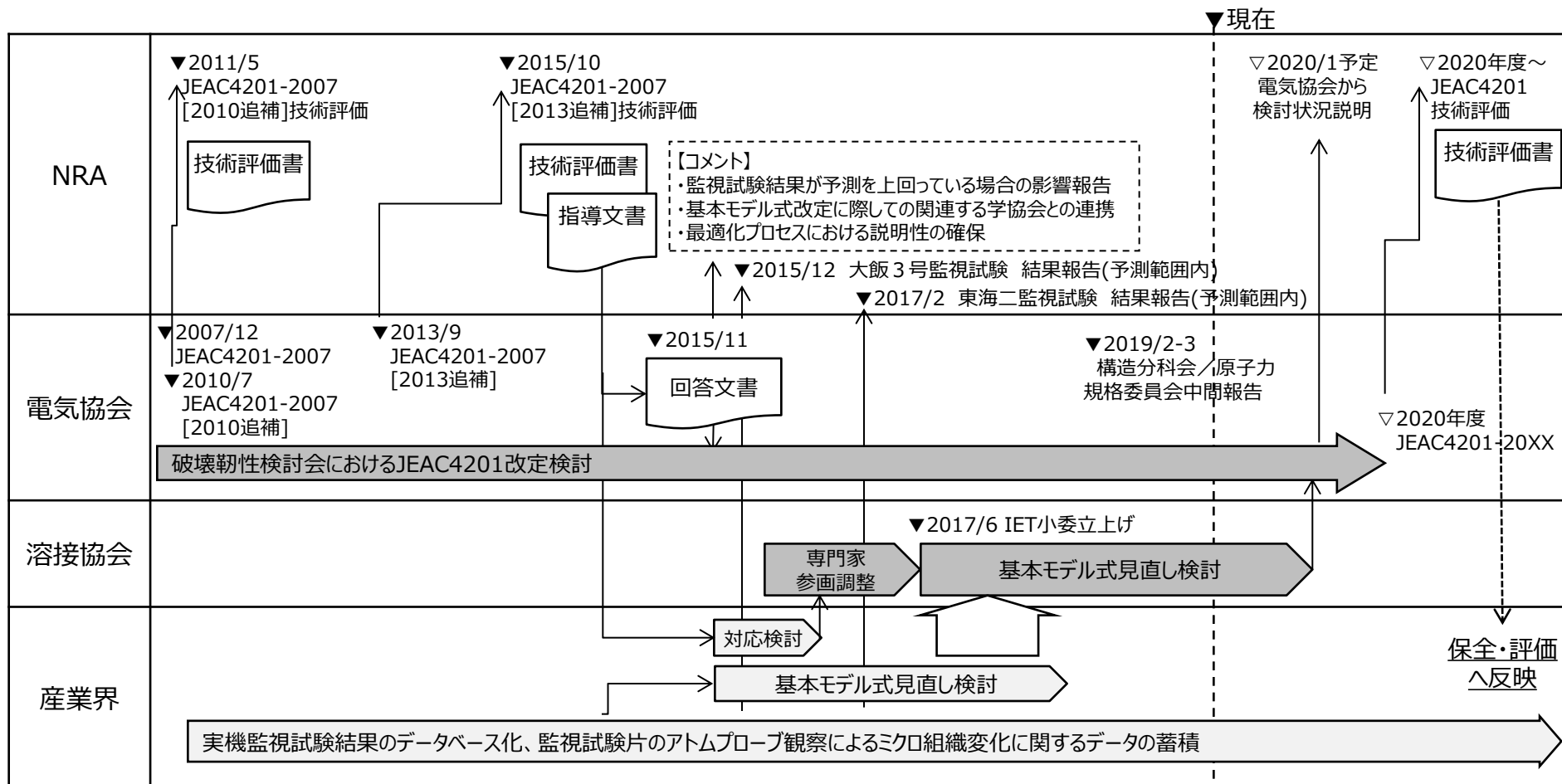
- ✓ 想定される劣化事象、最新知見を踏まえた高経年化評価。
- ✓ 照射脆化に対しては、監視試験による機械的特性を確認し、その結果から将来の脆化傾向を評価。



【参考 1】 原子炉压力容器の保守管理 (2/2)

原子炉構造材の監視試験方法 (JEAC4201) の検討状況について

- 産業界では、将来の安全な長期運転に向け、脆化予測式の更なる高度化のため、JEAC4201-2007制定以降実機で照射された原子炉压力容器材料のマイクロ組織を観察し、照射による材料のマイクロ組織の変化に関する知見を蓄積してきた。
- これら産業界で蓄積してきたマイクロ組織の変化に関するデータや国内外の最新知見を踏まえた上で、照射脆化予測式の基本モデル式の見直し検討を進めており、関連する学協会の専門家を含めて、溶接協会場で検討が行われているところ。
- 溶接協会における基本モデル式の検討結果が概ねまとまりつつあり、2020年以降、これら新たな知見を踏まえ電気協会場でJEAC4201の改定検討が進められる。



【参考2】各プラントの高経年化技術評価実績および予定

プラント※1	営業運転開始日	至近の認可実績 (高経年化技術評価等に係る審査)	運転開始後の暦年経過年数																												
			'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35	'36	'37					
PWR	北海道	泊1※2	1989/6/22	2019/5/27(PLM30:冷温停止時のみ)																											
		泊2	1991/4/12	-																											
		泊3	2009/12/22	-																											
	関西	美浜3	1976/12/1	2016/11/16(PLM40:運転期間延長)																											
		高浜1	1974/11/14	2016/6/20(PLM40:運転期間延長)																											
		高浜2	1975/11/14	2016/6/20(PLM40:運転期間延長)																											
		高浜3	1985/1/17	2015/11/18(PLM30:運転前提評価)																											
		高浜4	1985/6/5	2015/11/18(PLM30:運転前提評価)																											
		大飯3	1991/12/18	-																											
		大飯4	1993/2/2	-																											
	四国	伊方3	1994/12/15	-																											
	九州	川内1	1984/7/4	2015/8/5(PLM30:運転前提評価)																											
		川内2	1985/11/28	2015/11/18(PLM30:運転前提評価)																											
		玄海3	1994/3/18	-																											
玄海4		1997/7/25	-																												
原電	敦賀2※2	1987/2/17	2017/2/2(PLM30:冷温停止時のみ)																												
BWR	東北	東通1	2005/12/8	-																											
		女川2	1995/7/28	-																											
		女川3	2002/1/30	-																											
	東京	KK1※2	1985/9/18	2015/9/14(PLM30:冷温停止時のみ)																											
		KK2※3	1990/9/28	-																											
		KK3	1993/8/11	-																											
		KK4	1994/8/11	-																											
		KK5※3	1990/4/10	-																											
		KK6	1996/11/7	-																											
		KK7	1997/7/2	-																											
	中部	浜岡3※2	1987/8/28	2017/8/16(PLM30:冷温停止時のみ)																											
		浜岡4	1993/9/3	-																											
		浜岡5	2005/1/18	-																											
	北陸	志賀1	1993/7/30	-																											
志賀2		2006/3/15	-																												
中国	島根2※3	1989/2/10	-																												
原電	東海二	1978/11/28	2018/11/7(PLM40:運転期間延長)																												

- ※1 廃止措置プラント及び廃止措置予定プラントは除く
- ※2 冷温停止状態が維持されることを前提とした評価のみを行っているプラント
- ※3 審査中のプラント