

1.長期運転の必要性

1.1 2050年CN達成に向けた観点

2.技術的課題

2.1 原子力規制委員会の見解

2.2 経年劣化についての知見

2.3 各種経年劣化に関する研究動向

1.長期運転の必要性

1.1 2050年CN達成に向けた観点

○新增設/リプレースをせず、60年超運転をしない場合、原子力発電比率は2040年代以降大幅に減少。
○OECD/NEAの分析では、長期蓄電などの大規模な展開の見通しは依然不確実であり、原子力発電所の長期運転は、CN達成に向けた戦略における電力の安全保障を強化できる実証済みの方法の一つとされている。

○2022年6月には、IEAが報告書「原子力発電と確実なエネルギー移行」を発表。カーボンニュートラル実現やエネルギー安全保障の要請で再注目される原子力を取り巻く現状を分析し、原子力を利用する国の政策立案担当者に向けた政策勧告を発表。

— 廃炉決定済のもの除く、全36基の原子力発電所(建設中を含む)が60年運転すると仮定しても、自然体では、2040年代以降、設備容量は大幅に減少する見通し。
— 2050年には60年運転で23基、1,663億kwh(参考:2030年の原子力発電比率20~22%=1,868~2055億kwh)
(出典)第24回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 資料3「今後の原子力政策について(事務局提出資料)」

— その他の柔軟性オプション(長期蓄電、デマンドレスポンス、セクターカップリングなど)の大規模な展開の見通しは依然として不確実である。長期運転は、脱炭素化戦略における電力の安全保障を強化できる実証済みのソリューションの一部である。

(出典)OECD/NEA「Long-Term Operation of Nuclear Power Plants and Decarbonisation Strategies」(2021年)

※和訳は、原子力産業協会による「OECD/NEA報告書「原子力発電所の長期運転と脱炭素化戦略」について」を参照。

<原子力発言をとりまく現状>

- 確立された大規模な低排出のエネルギー源である原子力は、電力供給の脱炭素化を支援するのに適したもの。
- 原子力は、世界全体のネット・ゼロへの確実な道のりにおいて、重要な役割を担う。等

<原子力を利用する国の政策立案担当者に向けた政策勧告>

① 安全な形で可能な限り長期に運転を継続するために、既存の原子力発電所の運転延長を承認すべき。

② 効率的で効果的な安全規制を推進すべき。等

(出典)IEA、「Nuclear Power and Secure Energy Transitions: From Today's Challenges to Tomorrow's Clean Energy System」(2022年)、第31回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 資料4 原子力政策に関する今後の検討事項について」(事務局資料)

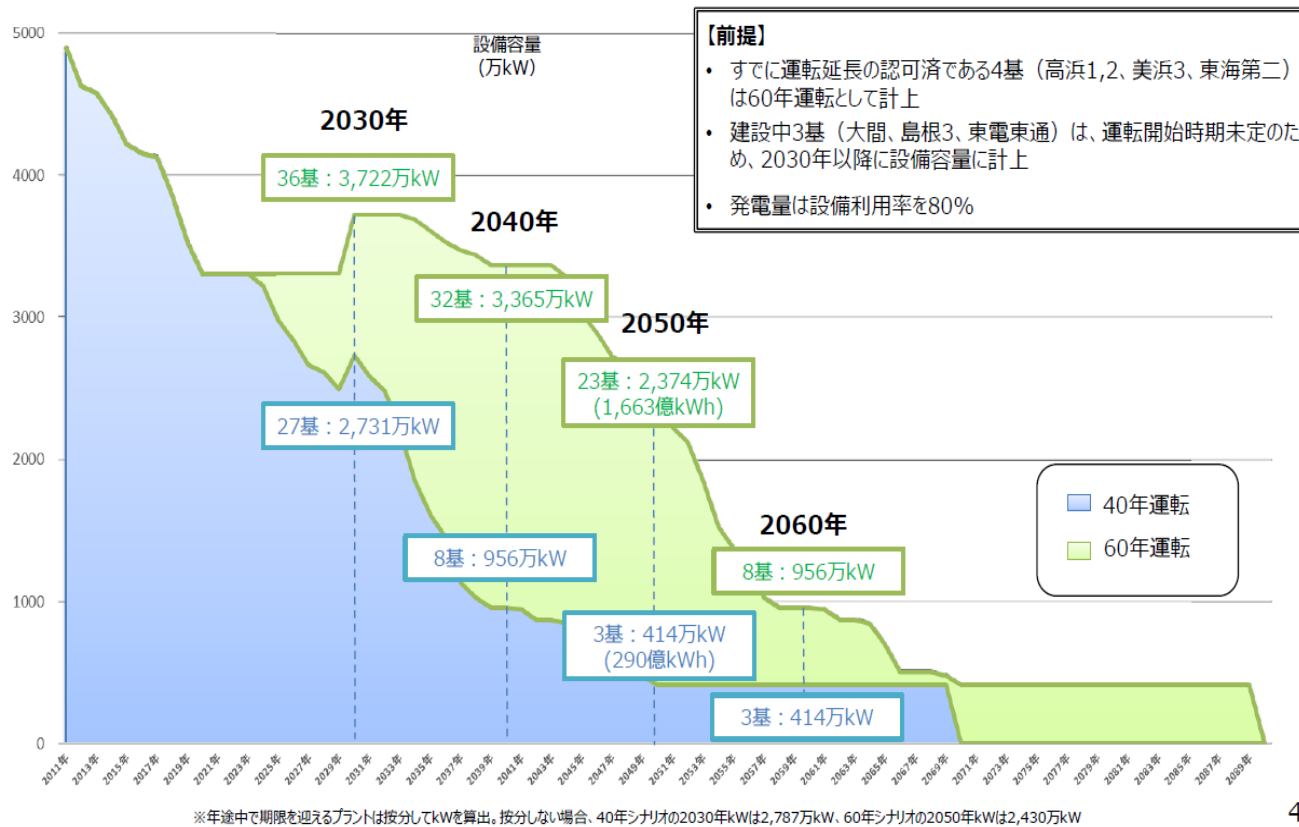
1.長期運転の必要性

1.1 2050年CN達成に向けた観点

○国内原子力発電所の将来の設備容量見通し

・廃炉決定済のもの除く、全36基の原子力発電所(建設中を含む)が60年運転すると仮定しても、自然体では、2040年代以降、設備容量は大幅に減少する見通し。

・2050年には60年運転で23基、1,663億kwh (参考:2030年の原子力発電比率20~22%=1,868~2055億kwh)



1. 長期運転の必要性

各国における原子力発電所の運転期間の延長に向けた動き

【参考】各国における原子力発電所の新規建設と運転期間の延長に向けた動き



- 先進国の中では、2050年CNの実現やウクライナ侵攻等を踏まえ、過度な化石燃料依存からの脱却に向けて、原発の**新規建設の方針**と、それに向けた**政策支援策を具体化する動きあり**。
- 一方で、EUタクソミーの動向等、今後の金融環境等の不確実性も踏まえ、**供給手段の選択肢を確保**する観点から、**既設炉の運転期間の延長**も進めている。

【新規建設に向けた方針等】

【既設炉の運転延長に向けた方針等】

 アメリカ	▶ エネルギー省「革新的原子炉実証プログラム」等 2炉の建設支援、8炉型の研究開発支援 (2020) 老朽石炭火力をSMR等で置換可能と分析 (2022)
 イギリス	▶ ジョンソン首相「エネルギー安保戦略」(2022/4) 2050年までに発電割合を25%に、24GWの導入 1基/1年に建設ペース加速へ、支援を抜本拡充
 フランス	▶ マクロン大統領「新規原子炉計画」(2022/2) 2050年へ大型革新軽水炉14基を建設・検討 建設・運営主体の電力会社EDFを完全国有化
 オランダ	▶ 新連立政権「政策協定」公表 (2021/12) 新たに2基を建設する方針を表明
 韓国	▶ 尹大統領「エネルギー政策の方向性」(2022/7) 2030年原発割合30%以上、国内2基建設等

▶ 運転期限なし (40年+20年単位延長) 現時点で80年までの運転延長認可は6基 さらに9基について審査中
▶ 運転期限なし (10年ごとに安全審査) 2035年に40年となるサイズウエル原発で 20年延長を検討中
▶ 運転期限なし (10年ごとに安全審査) 56基中20基が40年超運転へ 運転延長も対象にグリーンファイナンス検討中
▶ 運転期限は法律で規定 (期間のルールなし) 60年運転認可済の原発の再延長方針を表明
▶ 運転期限なし (10年ごとに安全審査) 既設炉の継続運転手続きの迅速化を表明

原発廃止方針の国	ヘルギー  ドイツ 
----------	---

- ▶ 2025年に閉鎖予定だった2基について、10年間運転延長する方針を決定 (2022/3)
- ▶ 2022年に廃止予定の3基について、運転延長を行わない方針を一旦決定するも、電力供給への影響について再度精査中

2.技術的課題

2.1 原子力規制委員会の見解

- 長期停止期間中は、中性子照射脆化などの事象は、劣化の要因として考慮しなくてよい。
- コンクリート構造物の中性化など、長期停止期間中も同様に劣化が進展する事象については、個別プラントごとに確認する必要がある。
- 運転期間に長期停止期間を含めるべきかどうかについて、科学的・技術的な結論を得ることは困難だが、評価時期をどのように定めようが、将来的な劣化の進展については、個別の施設・機器等に応じて、科学的・技術的に評価することは可能。
- 40年という期間は、評価を行う時期として唯一の選択肢ではなく、立法政策として定められたもの。

—「原子力規制委員会の役割は、原子炉等の設備について、運転開始から一定期間経過した時点で、延長する期間において原子炉等の劣化を考慮した上で技術基準規則に定める基準に適合するか否かを、科学的・技術的観点から評価することである。運転期間を40年とする定めは、このような原子力規制委員会の立場から見ると、かかる評価を行うタイミング(運転開始から一定期間経過した時点)を特定するという意味を持つものである。」

—(長期停止期間中の)「中性子照射脆化、低サイクル疲労」等の事象については、「放射線が照射される環境にならないこと、大きな温度、圧力の変動がないこと」等から、「劣化の要因として考慮しなくてもよいと考えられる。」

—「他方、コンクリート構造物の中性化」等といった事象については、「長期停止期間中もそうでない期間と同様に劣化が進展する。これらの劣化事象については、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もできるが、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。」

—「運転期間に長期停止期間を含めるべきか否かについて、科学的・技術的に一意の結論を得ることは困難であり、劣化が進展していないとして除外できる特定の期間を定量的に決めることはできない。」

—他方、かかる時期(評価する時期)をどのように定めようと、発電用原子炉施設の将来的な劣化の進展については、個別の施設ごとに、機器等の種類に応じて、科学的・技術的に評価を行うことができる。

—(原子炉等規制法で定められている)「40年という期間そのものは、」評価を行う時期として唯一の選択肢というのではなく、発電用原子炉施設の運転期間についての立法政策として定められたものである。そして、発電用原子炉施設の利用をどのくらいの期間認めることとするかは、原子力の利用の在り方に関する政策判断にほかならず、原子力規制委員会が意見を述べるべき事柄ではない。」

(出典)原子力規制委員会 「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」(2020年7月)

2.技術的課題

2.2 経年劣化についての知見

2.2.1 ATENAによるレポート

- 安全な長期運転に向けて、知見拡充事項を整理。
- 米国最新知見に照らし、我が国の高経年化評価実施基準に記載の無い経年劣化事象が3件抽出されたが、これらは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。
- 圧力容器等の取替困難機器に関し、米国に倣い80年の評価期間を想定し、科学的・技術的に評価する場合に、従来の高経年化評価手法の知見拡充の取組を整理(中性子照射脆化2項目)。

●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

①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実施基準等)と米国の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等)を比較・分析。

比較・分析の結果:PLM(Plant Life Management :ここでは「高経年化対策」の意味。)実施基準に記載の無い経年劣化事象として3件を抽出(※報告書本体から追記:抽出された3件は以下のとおり:

- ✓チタン合金使用伝熱管のSCC(Stress Corrosion Cracking: 応力腐食割れ)
- ✓アルミ合金使用機器の孔食/隙間腐食/SCC、
- ✓鋼製機器が埋設環境下で炭酸塩・重炭酸塩に曝される事によるSCC)。

その3件については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く、国内では個別環境を考慮し別の事象を想定して保全を実施。PLM実施基準への反映の検討について、原子力学会へ提言していく。

②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(原子炉圧力容器、原子炉格納容器、コンクリート構造物)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

(出典)第14回原子力委員会資料第1号 原子力エネルギー協議会(ATENA)「安全な長期運転に向けた経年劣化管理の取組」(2022年4月)、
原子力エネルギー協議会(ATENA)「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)

2.技術的課題

2.2経年劣化についての知見

2.2.2 OECD/NEAによるレポート

○ほとんどの機器等が、原子力発電所の寿命の中で修理・交換される一方で、圧力容器等、交換が不可能な機器も存在し、これらの経年変化によって原発の運転期間が制限される。

○一方、それらの経年変化メカニズム等は十分に理解されているため、経年変化管理を行うことで、運転中の安全マージンを許容範囲内に保っている。その結果として、長期運転のための重大な技術的障害はない。

原子力発電所は、その寿命の間に、構造物・系統・機器(SSC)の殆どが通常の保守手順や改修工事の一環として交換される。交換を行うことによって、経年化の影響を軽減し、最新の規制、知識、運転経験に従って必要な安全性向上を実施できる。

但し、技術的・経済的な理由で交換が不可能とみなされるSSCがある。これらのコンポーネントの経年変化によって最終的に原子力発電所の運転期間が制限される。原子炉圧力容器など(注)が該当する。数十年にわたる研究と運転経験の蓄積から、運転寿命を制限する主な経年変化メカニズム、ストレス因子などは十分に理解されている。実際、この技術的証拠と経年変化管理プログラムを組み合わせることによって、運転中に安全マージンが許容範囲内に保たれるよう確保している。長期運転プログラムでは、内部評価、定期的な再評価及び外部のピアレビューを実施している。

その結果、電力会社が必要な修理と交換を行う一方で、入手可能な技術的証拠を使用して強化された経年変化管理プログラムを実施するならば、長期運転が重大な技術的障壁に直面することはない。

これまでの経験では、電力会社は、長期運転回収のための長い停止期間を利用して、出力の向上、計装制御系の改善、柔軟な運転、全体的なプラント近代化などの追加の改良工事を実施している。

(注)原子炉の寿命を制限するSSC:

- ・原子炉圧力容器(軽水炉)
- ・原子炉冷却系配管、溶接部、炉内部材(軽水炉・重水炉)
- ・格納容器などの大型な土木・コンクリート構造物(軽水炉・重水炉)
- ・プラントの電気系統の大部分(軽水炉・重水炉)

(出典)OECD/NEA「Long-Term Operation of Nuclear Power Plants and Decarbonisation Strategies」(2021年)

※和訳は、原子力産業協会による「OECD/NEA報告書「原子力発電所の長期運転と脱炭素化戦略」について」を参照。

2.技術的課題

2.3 各種経年劣化に関する研究動向

【JAEA】経年劣化研究グループ

国内の発電用原子炉の約半数がすでに30年を超えて長期供用されています。このような状況で発電用原子炉を今後も使用していくためには、長期供用に伴う原子炉機器の経年劣化の影響を評価し、安全が確保されることの確認が必要です。当研究グループでは、国による軽水炉の運転期間延長の認可や高経年化対策に関する技術的妥当性の判断等に資することを目的として、原子炉圧力容器やその炉内構造物の材料劣化(照射脆化や応力腐食割れ)に関する研究を実施しています。(HPから引用)

【電中研】エネ庁委託事業：原子力発電所の長期運転に向けた高経年化対策に関する研究開発(令和3年度～5か年計画)

本事業では、原子力発電所の長期運転に向けた高経年化対策の検討及び研究開発を行います。具体的には、材料または機器の経年劣化としての原子炉圧力容器の照射脆化、ケーブル及び計装機器の経年劣化、配管の粒界割れ事象等を考慮し、重要機器に関する規格整備に向けて知見を拡充すべく、照射材試験や超音波探傷試験を実施します。

令和3年度は高経年化対策の課題を抽出し、令和4年度から試験等を含む研究開発を開始します。なお、事業全体の完遂には複数年を要すると考えています。

(HPから引用)

以下、参考資料

1.1 2050年CN達成に向けた観点

・その他の柔軟性オプション(長期蓄電、デマンドレスポンス、セクターカップリングなど)の大規模な展開の見通しは依然として不確実である。長期運転は、脱炭素化戦略における電力の安全保障を強化できる実証済みのソリューションの一部である

Security and reliability of the electricity supply

LTO allows countries to extend the benefits that nuclear power plants provide in terms of fuel availability and diversity, as well as in terms of ancillary services such as inertia, primary and secondary frequency control and load following.

More importantly, one of the major security-of-supply concerns in most countries is system adequacy, or the availability of physical capacity in the mid to long term. This issue is becoming critical in the context of more ambitious emission targets, and will certainly require the closure of dispatchable generators such as coal and gas plants in future. In addition, nuclear phase-out policies will further reduce capacity margins. In Europe, coal and nuclear capacity (40% of dispatchable generation in 2020) is set to drop 66% (160 gigawatts [GW]) by 2040, according to stated policies. The higher VRE additions are expected to have a limited impact given their low capacity factors. Flexibility from interconnectors could also decrease with various countries simultaneously phasing out dispatchable generators. The prospects of a large-scale deployment of other flexibility options (e.g. long-term storage, demand response, sector coupling) remains uncertain. LTO is, on the other hand, part of proven solutions that can enhance electricity security in decarbonisation strategies.

(出典)OECD/NEA「Long-Term Operation of Nuclear Power Plants and Decarbonisation Strategies」(2021年)を基に作成

原子炉等規制法 運転期間に関する条文抜粋

(運転の期間等)

第四十三条の三の三十二 発電用原子炉設置者がその設置した発電用原子炉を運転することができる期間は、当該発電用原子炉について最初に第四十三条の三の十一第三項の確認を受けた日から起算して四十年とする。

2 前項の期間は、その満了に際し、原子力規制委員会の認可を受けて、一回に限り延長することができる。

3 前項の規定により延長する期間は、二十年を超えない期間であつて政令で定める期間を超えることができない。

4 第二項の認可を受けようとする発電用原子炉設置者は、原子力規制委員会規則で定めるところにより、原子力規制委員会に認可の申請をしなければならない。

5 原子力規制委員会は、前項の認可の申請に係る発電用原子炉が、長期間の運転に伴い生ずる原子炉その他の設備の劣化の状況を踏まえ、その第二項の規定により延長しようとする期間において安全性を確保するための基準として原子力規制委員会規則で定める基準に適合していると認めるときに限り、同項の認可をすることができる。

2. 経年劣化管理に関するATENAの取組

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		
<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>	<div style="background-color: #ffffcc; padding: 5px;"> <p><u><通常運転時></u></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 </div> <div style="background-color: #ffffcc; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p><u><長期停止期間></u></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) <div style="margin-left: 20px;"> <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 </div> <div style="margin-left: 20px;"> <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) </div> </div>	<div style="border: 2px solid red; padding: 5px; background-color: #ffe6e6; margin-bottom: 5px;"> <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> </div> <div style="border: 2px solid green; padding: 5px; background-color: #e6ffe6; margin-bottom: 5px;"> <p>PWR粒界割れ知見拡充 (WG体制を組んで対応中)</p> <p>運転経験より得られた産業界で取組むべき共通の技術課題として対応</p> </div> <div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; background-color: #e6e6ff;"> <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> </div>
	<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 (設計経年化対応)</p> <p>製造中止品への対応</p>	



※ IAEAガイド「Aging 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-48)

3-1. 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」を发出。

『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）

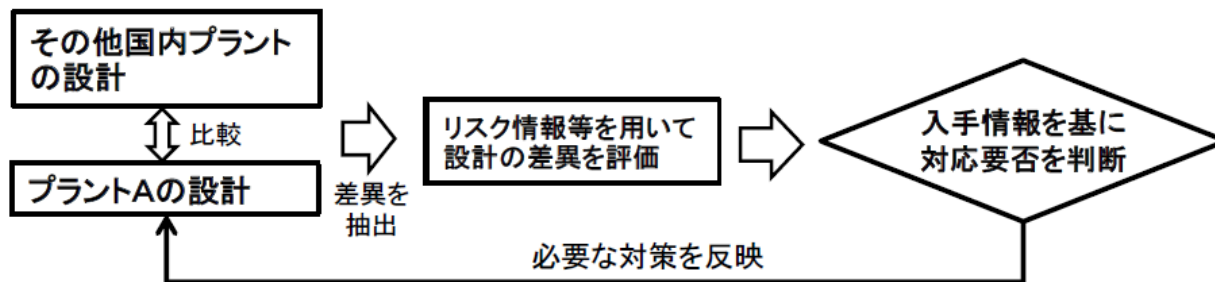
- 中性子照射脆化、低サイクル疲労などについては、長期停止期間中はそのような事象が生じる環境にないことから、考慮しなくてもよい。
- コンクリート構造物の中性化や塩分浸透など、**長期停止期間中も劣化が進展する事象**はあるが、**各事業者が、プラントごとに適切に保管及び点検することにより、進展を抑制することができる。**
- **規制当局としては、事業者の保管対策及び点検の適切性について、個別プラントごとに確認することが必要である。**

3-2. 設計経年化管理に係る取組

- 基準適合を前提として、今後の安全な長期運転に向けて、**設計の相違に起因する安全上の弱点を特定し、継続的に安全性向上を図るための仕組み**を新たに構築する。

[具体的な取組（内部事象評価の例）]

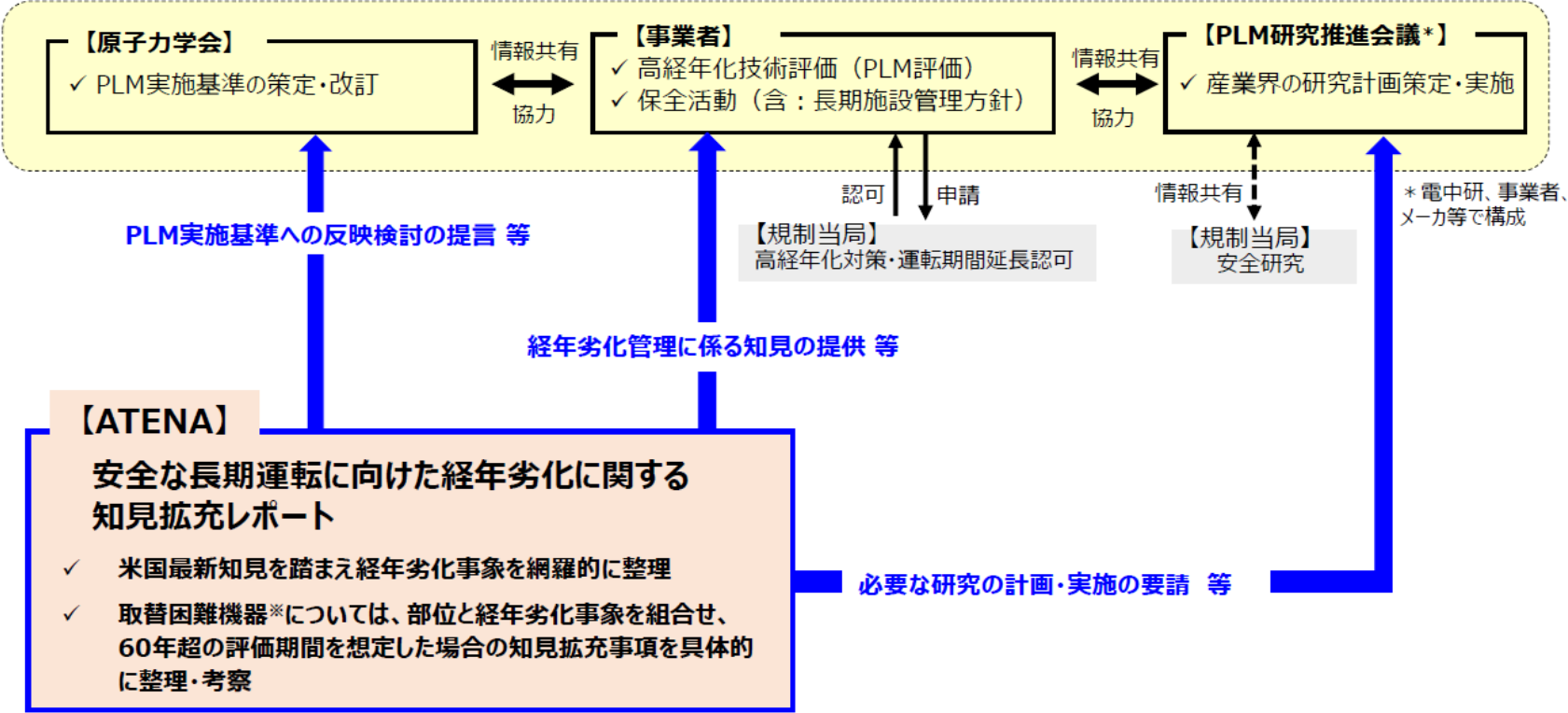
- 時間の経過に伴い、既設プラントの設計に安全設計上の改善の余地がないかという観点から、国内プラント間で設計を比較し、安全設計上の差異を抽出する。
- 抽出した差異に対して、リスク情報等を用いて安全に対する影響度合いや改善の効果を確認し、必要に応じて対策を検討する。



- ATENAは上記の取組に係るガイドを発刊。**事業者は、ガイドを踏まえて、設計経年化管理に係る取組を通じ、継続的な安全性向上に繋げていく。**

3-4. プラント運転中も含めた経年劣化管理に係る取組 (1/2)

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。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。



※取替困難機器・・・取替による機能回復が困難な機器
:従来から取り組んでいる内容

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

3-4. プラント運転中も含めた経年劣化管理に係る取組 (2/2)

- 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チタン合金使用伝熱管のSCC等、3件を抽出。その3件については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く、国内では個別環境を考慮し別の事象を想定して保全を実施。PLM実施基準への反映の検討について、原子力学会へ提言を行っていく。

<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) >

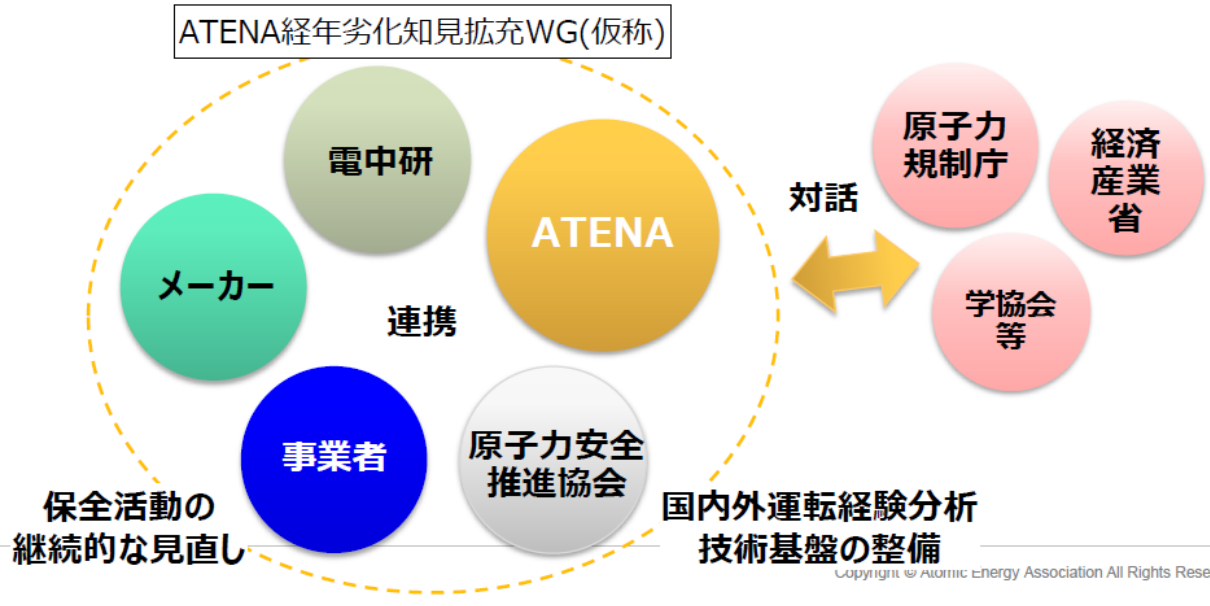
プラント運転期間に影響を及ぼす取替困難機器において部位と事象を組合せ、米国に倣い80年の評価期間を想定した場合に、従来のPLM評価手法で、科学的・技術的に評価可能か考察

↓
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)

5. ATENAを中心とした経年劣化に係る今後の取組

➤ 経年劣化管理に関する諸活動（研究開発、規格策定等）を戦略的・体系的に行っていくためには、最新知見・運転経験等を踏まえて課題を整理し、それに基づき活動の方向性と達成目標を戦略的に設定・実施していく機能が必要。

➤ ATENAに経年劣化知見拡充WG（関係機関が一堂に会し連携）を設置し、経年劣化管理に係る最新知見や運転経験に係る情報などを収集・分析し、活動計画（研究開発計画等）を策定・実施する。→今後具体化



Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

【参考3-4】プラント運転中も含めた経年劣化管理に係る取組(1/3)

- 国内で想定している経年劣化事象と米国80年運転認可で想定している経年劣化事象を比較・分析した結果、日本原子力学会PLM実施基準（附属書D）に記載の無い経年劣化事象は以下の3事項であり、各項目に対する状況は以下のとおり。

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	
アルミ合金 使用機器	孔食 隙間腐食 SCC	<ul style="list-style-type: none"> ● 国内でアルミ合金はSFPプールゲート等に使用されているが、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"> ● 国内機器でチタン合金の熱交換器伝熱管は、海水系の復水器等に使用されているが、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。 ● 国内では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、ガスプラントや石油プラントの埋設配管で炭酸塩に抛る割れが過去検出された例があることからSLR-SRPに取り込んだ項目であり、米国原子力発電所での損傷事例は確認されていない。

⇒上記3事項については、PLM実施基準への反映の検討について、日本原子力学会へ提言を行っていく

【参考3-4】プラント運転中も含めた経年劣化管理に係る取組(2/3)

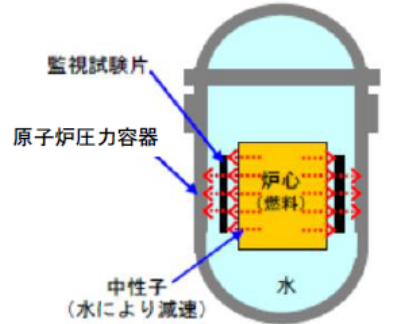
- 取替困難機器（原子炉圧力容器、原子炉格納容器、コンクリート構造物）に対し、現状のPLM評価手法・データが80年の評価期間を想定した場合でも適用可能か考察し、知見拡充が望まれる事項を検討した結果、以下のとおり。

	事象	概要	対応状況
原子炉圧力容器	中性子照射脆化	<p><u><JEAC4201の適用上限見直し></u> 現行のJEAC4201*1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。 80年の評価期間を想定する場合は、個別プラントの稼働率や中性子束に依存するものの、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の適用範囲上限の拡大に資する。</p>	<p>実機データ採取～規格反映の取組については産業界・学協会でも継続実施中であり、更に規格適用上限拡大も念頭に置き実施する</p>
		<p><u><監視試験片再生等></u> 監視試験片の取り出しは技術基準規則*2、JEAC4201及び運転期間延長認可制度に基づき実施されているが、建設時に装荷した監視試験片数には限りがある。 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必要がある。</p>	<p>実機データ採取については産業界でも継続実施中であり、更に産業界研究の実施を検討中</p>

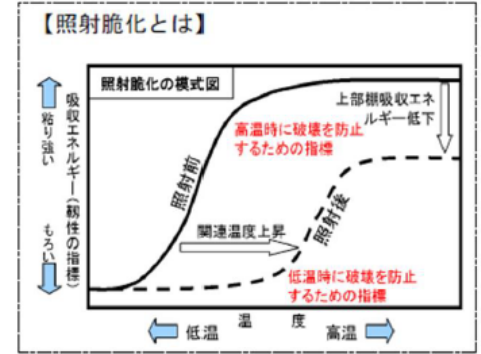
*1：原子炉構造材の監視試験方法（JEAC4201-2007[2013年追補版]）
 *2：実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則

【参考3-4】 プラント運転中も含めた経年劣化管理に係る取組(3/3 : 照射脆化について)

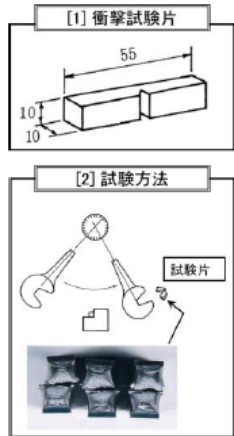
➤ 原子炉圧力容器は中性子を受け脆化するため、その構造安全性を確認するべく、あらかじめ原子炉圧力容器内に監視試験片を入れておき、計画的に取り出して規定された試験・評価を実施する事により、原子炉圧力容器の将来の状態を把握する事が出来る。



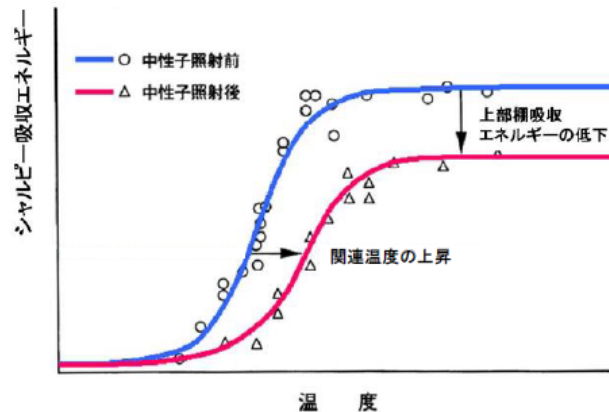
<原子炉圧力容器内イメージ(PWR)>



➤ 具体的には、規格に則り、試験片に対し様々な温度でシャルピー衝撃試験を行い、吸収エネルギーと温度の関係をプロットし、その結果から、上部棚吸収エネルギー(USE)や関連温度 (RT_{NDT})を算出し、予測式による予測と比較評価する。



<シャルピー衝撃試験イメージ>



- ただし80年の評価を想定するにあたっては、以下の知見拡充が望まれる
 - ✓ JEAC4201におけるRT_{NDT}、USE予測式の中性子照射量の適用上限拡大
 - ✓ 限りある監視試験片の更なる有効活用 や、その試験結果のデータ検証

2.2.2 OECD/NEAのレポート

No major technical showstoppers for longer operations and adaptations

Nuclear facilities are not static assets. During their lifetimes, most of their structures, systems and components (SSCs) are replaced as part of normal maintenance procedures and more extensive refurbishments. These replacements mitigate the impacts of ageing and allow operators to implement the necessary safety upgrades in accordance with the latest available regulations, knowledge and operating experience.

There are, however, SSCs for which replacement is considered unfeasible for technical and/or economic reasons. Consequently, the ageing of these components will ultimately limit the operations of the plant. Critical life-limiting components are the reactor pressure vessel (RPV) and concrete containment structures. Depending on economic considerations, some core internals and cabling systems can also be considered as life-limiting. After several decades of research and operating experience, the main ageing mechanisms, stressors and associated dynamics in life-limiting SSCs are now well understood. In practice, this technical evidence has been combined with ageing management programmes (AMPs) to monitor and ensure that safety margins remain acceptable during operations, regardless of ageing, in particular for life-limiting components. The governing frameworks associated with LTO programmes also allow for internal, periodic re-evaluations and external peer reviews in order to identify potential shortfalls and provide access to the best international practices.

As a result, if utilities implement enhanced ageing management programmes using readily available technical evidence, while performing the necessary repairs and replacements, long-term operation should not face any major, generic, technical barriers. Provisions in safety margins and continuous monitoring through AMPs and research efforts will be needed in order to properly anticipate and manage the potential technical risks that may arise, especially over very long operating periods.

Industrial experience also shows that operators use the long outages of LTO refurbishments to perform additional plant retrofits, such as power uprates, instrumentation and control upgrades, flexible operations and overall plant modernisation activities. The overall objective is to adapt the plant to a changing environment while improving the economic value of the LTO investment.

2.2.2 OECD/NEAのレポート

4.1.1. *Potential life-limiting components and associated ageing phenomena*

In the past, life-limiting components of LWRs included the reactor pressure vessel (RPV), vessel internals, steam generators, main pumps, cables and the concrete structures (NEA, 2000). Technical advances and new engineering techniques have resulted in the re-classification of components that were initially considered non-replaceable, with significant industrial experience demonstrating that steam generators and vessel internals can be replaced (IAEA, 2008a).

Currently, all of the components of LWRs can be replaced, except perhaps³ the RPV and some containment structures (NEA, 2006, 2012b). Nevertheless, economics plays an important role in the decision-making process to replace some of these components. The economic attractiveness of a major refurbishment increases with the size of the reactor and the remaining operating time. As a plant ages, the remainder of the operating time frame may be too short to ensure recovery of the investment in heavy equipment and components. Market conditions and future electricity price projections can also condition the final outcome. Some RPV internals and cabling are typically some of the components that could be considered life-limiting, or not, depending on economic considerations⁴.

Based on this evidence, the following SSCs may become life-limiting:

- RPV (LWRs);
- reactor coolant system piping, welds and core internals (LWRs, PHWRs);
- large, civil and concrete structures, such as the containment building (LWRs, PHWRs);
- large sections of the plant's electrical cable system (LWRs, PHWR).

国際機関による経年劣化・長期運転に関する報告書

【IAEA】

- ・Ageing Management and Development of a Programme for Long Term Operation of Nuclear Power Plants(経年劣化管理に関する基本的な考え方を示すガイド、2018年)
- ・Ageing Management for Nuclear Power Plants: International Generic Ageing Lessons Learned(各国の運転経験や管理手法を基に各機器に対する経年劣化管理プログラムや経年劣化評価の基本を示す報告書、2015年)

【OECD/NEA】

- ・Long-Term Operation of Nuclear Power Plants and Decarbonisation Strategies (原子力発電所の長期運転に関する分析・提言を行った報告書)