

米国の延長認可における安全評価

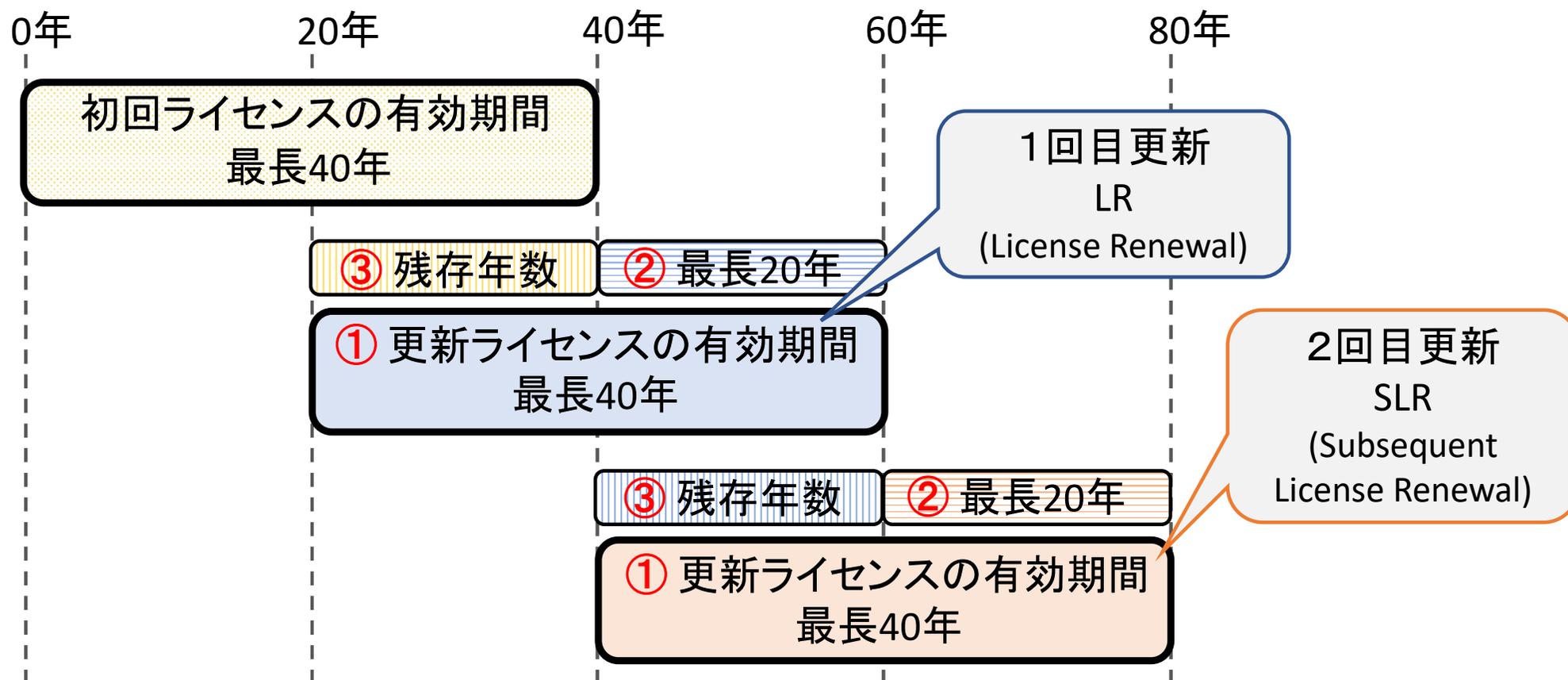
令和5年3月23日

高経年化した発電用原子炉の安全規制に関する検討チーム



更新ライセンスの有効期間に係る法規則

- ライセンスの更新は米国原子力規制委員会 (NRC: Nuclear Regulatory Commission) が決定する40年を超えない期間に対して発行される(①)。(原子力法 第10章 第103条)
- 更新ライセンスは20年を超えない期間* (②) に、現行有効な残存年数(③)を加えた期間(①)に対して発行される。更新ライセンスの有効期間は40年を超えることができない。
(連邦規則 10CFR Part 54) * : 現在有効なライセンスの満了時から更新申請するライセンスの満了時までの期間



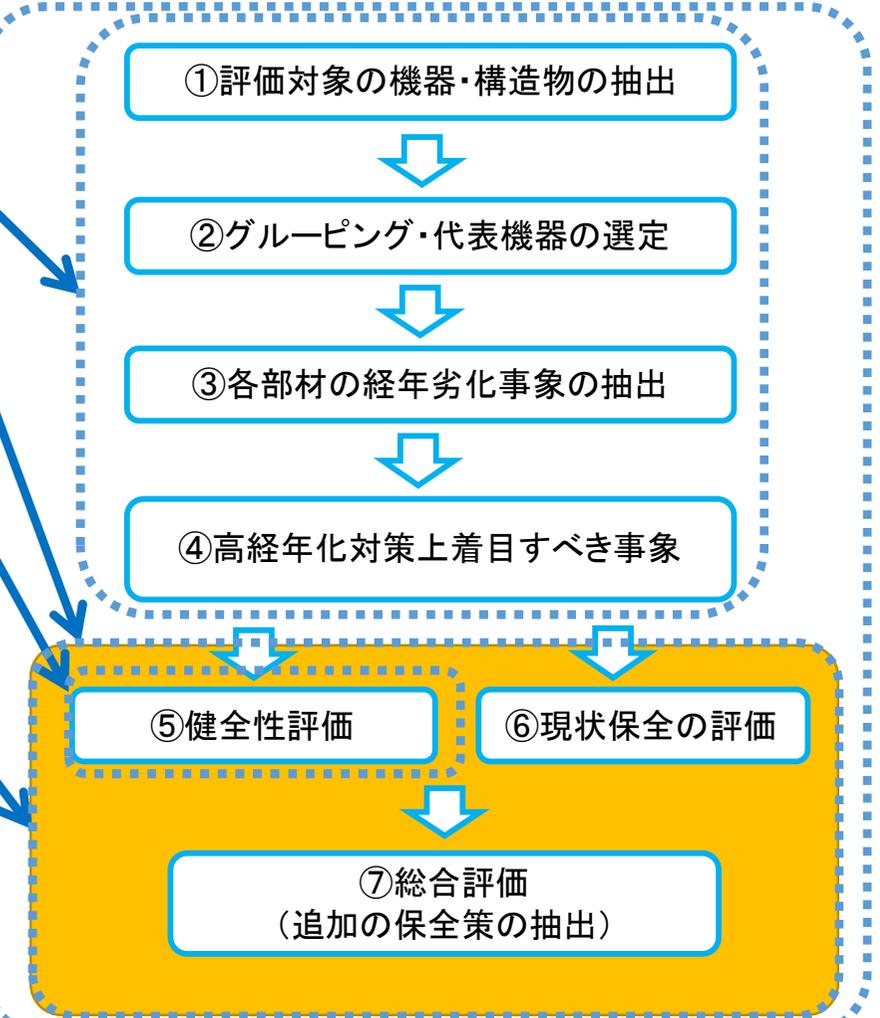
(出典) https://archives.federalregister.gov/issue_slice/1991/12/13/64941-64980.pdf
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part054/index.html>



安全評価の方法・項目等

- 10CFR54.21 申請内容(技術情報)
- ✓ Integrated Plant Assessment (IPA、統合プラント評価)
 - 経年劣化管理レビュー (AMR: Aging Management Review) の対象となる機器等の特定
 - 対象機器等(各構造物及び構成要素)について経年劣化影響が管理されることの説明
- ✓ Time Limited Aging Analyses (TLAA、時間限定劣化解析)
 - 経年劣化と運転期間を考慮した解析
- ✓ Final Safety Analysis Report (FSAR) supplement
 - 延長運転期間中の経年劣化の影響管理及びTLAA評価のためのプログラム並びに活動の概要説明
- ✓ Current Licensing Basis (CLB、現行認可ベース)
 - 対象となる機器等について、意図された機能が長期運転期間中にCLBと整合して維持されるよう、経年劣化の影響が適切に管理されることの提示

(参考)日本の高経年化技術評価の流れ



(出典)第2回高経年化した発電用原子炉の安全規制に関する検討チーム資料2-4

により米国と日本の項目のおおまかな対応関係を示す。



連邦規則 10CFR Part 54

§ 54.29 更新ライセンスの発行基準

委員会が以下を認めた場合、認められた全期間に対し更新ライセンスを発行できる。

- (a) 更新ライセンスにより認可された活動が、引き続き現行認可ベース (CLB: Current Licensing Basis) に従って実施されることが合理的に保証されるよう以下の措置が特定され、実施され、または、実施される予定であること。
- (1) 運転延長期間中において、構造物や機器における経年劣化の影響を管理すること。
 - (2) § 54.21(c)に基づく時間限定劣化解析 (TLAA)。

米国のライセンス更新では、系統、構造物及び機器 (SSCs: Systems, Structures and Components) に関し、経年劣化が管理され、**現行認可ベース (CLB) が更新後のライセンス期間において維持されることを要求している。**

2回目の更新(60から80年)に関し挙げられた技術課題



- 2014年にNRCスタッフは、DOE(米国エネルギー省)及びEPRI(米国電力中央研究所)との協定に基づく国際会議、IAEA主催の国際会議の議論等を踏まえ、60年超運転での最も重要な技術課題として以下を挙げた。NRC委員会も、継続的に取組み状況を報告するよう指示している。

①原子炉圧力容器の中性子照射脆化

高フルエンスレベルに関する傾向など

②炉内構造物の照射誘起応力腐食割れ(IASCC)

破壊靱性低下やスウェリングなど

③コンクリート構造物及び格納容器(コンクリート製格納容器)の劣化

長期間の照射影響やアルカリ骨材反応など

④電気ケーブルの認証及び状態評価

環境認定における評価方法やケーブルの長期水没など

- 上記技術課題の詳細は、NUREG/CR-7153, Volume 1 – 5 “Expanded Materials Degradation Assessment (EMDA)”に技術課題の重み付けや今後の安全研究の優先順位付けの結論としてまとめられている。

(出典) <https://www.nrc.gov/reactors/operating/licensing/renewal/slr/background.html>
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/contract/cr7153/index.html>

参考



- 1954年改正の**原子力法** (The Atomic Energy Act)
 - ✓ 米国原子力規制委員会(NRC)が商業用原子炉に対して最長40年※の運転ライセンスを発行することを認めている。
 - ✓ 運転ライセンス更新を認めている。
 - ✓ 更新回数の制限はない。

Atomic Energy Act of 1954

Chapter 10 Atomic Energy Licenses (第10章 原子力エネルギーライセンス)

Sec. 103 Commercial Licenses (第103条 商用ライセンス)

c. Each such license shall be issued for a specified period, as determined by the Commission, depending on the type of activity to be licensed, but not exceeding forty years, and may be renewed upon the expiration of such period.

c. 当該各免許は、認可される活動の種類に応じて委員会が決定する一定期間（ただし40年を超えない）発行されるものとし、当該期間の満了時に更新することができる。

(出典) <https://www.govinfo.gov/content/pkg/COMPS-1630/pdf/COMPS-1630.pdf>

※ If Congress had only intended to prohibit perpetual licenses, it would have been sufficient to state in section 103.C that licenses "shall be issued for a specified period." That Congress included a 40-year limit in section 103.C as an additional limiting clause indicates that the opposite was true, viz., that Congress intended a license to have a life of no more than 40 years. The commenter's view also fails to explain why Congress chose to speak of a license as being "renewed upon (its) expiration," rather than simply indicating that licenses may subsequently be amended to extend the term of the license. Most importantly, the legislative history belies the claim that the 40-year term was adopted merely to limit perpetual licenses. In fact, the limit was a compromise between the efforts of the Justice Department and electric cooperatives, who championed a 20-year limit on the basis of antitrust concerns, and the view of the utility industries that a longer period was necessary to ensure full amortization of a nuclear power plant.

(出典) 連邦官報 / 第56巻、No. 240 / 金曜日、1991年12月13日 / 規則及び規制 https://archives.federalregister.gov/issue_slice/1991/12/13/64941-64980.pdf



- **連邦規則10 CFR (code of federal regulations) Part 54**（原子力発電所の運転免許の更新要件）
 - ✓ ライセンスは、当初の40年の期間を超えて、1回の更新で20年単位で追加更新することが認められている。（54.31(b)）
 - ✓ ライセンス期限の20年前から更新申請が可能（54.17(c)）、期限の5年前までに更新申請が必要（2.109(b)）
 - ✓ 更新されたライセンスは、再更新が可能（54.31(d)）
 - ✓ 更新回数制限はない。

10 CFR Part 54 REQUIREMENTS FOR RENEWAL OF OPERATING LICENSES FOR NUCLEAR POWER PLANTS

54.31 Issuance of renewed license（更新ライセンスの発行）

(b) A renewed license will be issued for a fixed period of time, which is the sum of the additional amount of time beyond the expiration of the operating license or combined license (not to exceed 20 years) that is requested in a renewal application plus the remaining number of years on the operating license or combined license currently in effect. The term of any renewed license may not exceed 40 years.

(b)更新されたライセンスは、更新申請で要求された運転免許または複合免許の有効期限を超える追加期間（20年を超えない）に、現在有効な運転免許または複合免許の残存年数を加えた一定期間について発行される。更新されたライセンスの有効期間は40年を超えることはできない。

（出典） <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part054/index.html>



ライセンス更新の原則

- ライセンス更新のプロセス及び申請要件は、次の2つの原則に基づいている。
 1. 運転延長期間におけるシステム、構造物及び機器 (SSC: systems, structures and components) の経年劣化の有害な影響等の例外を除き、規制プロセスは、現行認可ベース (CLB: current licensing basis) が許容可能な安全レベルを確保するために十分である。
 2. 各プラントのCLBが、更新後のライセンス期間において維持されることが要求される。

(出典) <https://www.nrc.gov/reactors/operating/licensing/renewal/process.html#license>
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part054/index.html>

⇒ 審査は、経年劣化が管理され、CLBが維持されることを確認することに着目している。

3.5 なぜNRCは安全評価を経年劣化管理に係る課題に集中させるのか？

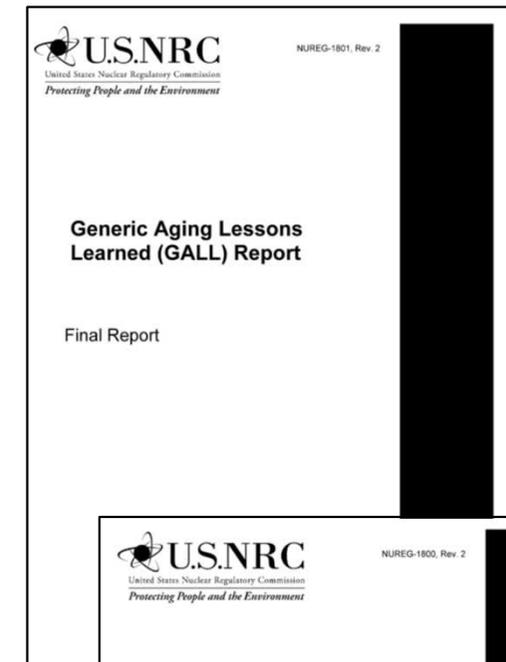
ライセンス更新の安全評価の焦点は、経年劣化の有害な影響を管理することである。この審査は、システム、構造物、機器 (SSCs) がプラントの現在のライセンス基盤に従って意図された機能を引き続き発揮するように、運転延長期間中、経年劣化の影響が管理されることを合理的に保証する。既に適切な経年劣化管理を提供している既存のプログラムや規制要件の多くは、更新後も引き続き適用される。ライセンス更新の審査では、現在の活動や要求事項では運転延長期間中の経年劣化管理が十分でない可能性があるSSCに焦点を当てる。

(出典) NUREG1850 "Frequently Asked Questions on License Renewal of Nuclear Power Reactors"
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1850/index.html>



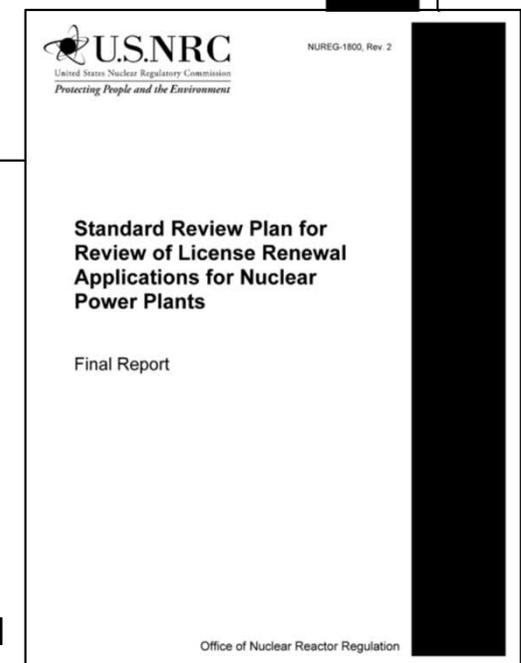
✓ Generic Aging Lessons Learned (GALL、共通の経年劣化教訓)

- Generic Aging Lessons Learned (GALL) report (NUREG-1801, Rev. 2) (40⇒60年向け)
- GALL-SLR report (NUREG-2191) (60⇒80年向け)
- 材料、環境、劣化影響の特定等の経年劣化管理レビュー (AMR) の評価を示す。
- 容認可能な経年劣化管理プログラム (AMP: Aging Management Programs) を示す。



✓ Standard Review Plan (SRP、標準審査要領)

- Standard Review Plan (SRP) for License Renewal (SRP-LR) (NUREG-1800, Rev. 2) と Subsequent License Renewal (SRP-SLR) (NUREG-2192)
- スコーピングとスクリーニング、AMR (Aging Management Review)、時間限定劣化解析 (TLAA: Time Limited Aging Analysis) に係る審査のためのNRCスタッフ向けのガイダンス



(出典) <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1801/r2/index.html>
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr2191/v2/index.html>
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1800/r2/index.html>
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr2192/index.html>



- ✓ **Interim Staff Guidance (LR-ISG、SLR-ISG) (暫定スタッフガイダンス)**
 - LR(License Renewal)及びSLR(Subsequent License Renewal)レビューで得た運転経験又は教訓に基づき策定される文書で、GALL及びSRPの本格改訂の間に発行され、ガイダンスの修正を行うもの。
 - LR-ISGは10件、SLR-ISGは5件の発行実績あり。

(出典) <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/isg/license-renewal.html>

- ✓ **Regulatory Guide 1.188, Rev. 2, “Standard Format and Content for Applications To Renew Nuclear Power Plant Operating Licenses”**
 - LR及びSLRに係る許容可能な申請フォーマットと内容を示す。
 - 次のNuclear Energy Institute (NEI) ガイダンスを是認(エンドース)
 - NEI 95-10 “Industry Guideline for Implementing the Requirements of 10 CFR Part 54—The License Renewal Rule”
 - NEI 17- 01 “Industry Guideline for Implementing the Requirements of 10 CFR Part 54 for Subsequent License Renewal”

(出典) <https://www.nrc.gov/docs/ML0518/ML051860406.pdf>

<https://www.nrc.gov/reactors/operating/licensing/renewal/guidance.html#nuclear>



✓ NUREG-2191, “Generic Aging Lessons Learned for Subsequent License Renewal (GALL-SLR) Report”

“GALL-SLRレポートの変更は、GALLレポートrev. 2で提供された指針を**明確化又は改善**するために行われたものである。米国NRCスタッフは、これらの変更により、GALL-SLRレポートが申請者やSLR申請の安全審査するNRCスタッフにとってより有用なものとなると考える。また、パブリックコメント期間中に寄せられた**パブリックコメントの結果、追加的な変更**が行われた。”

✓ NUREG-2192, “Standard Review Plan for Review of Subsequent License Renewal Applications for Nuclear Power Plants” (SRP-SLR)

“SRP-LR, Rev. 2から、多くの変更が加えられた。**いくつかの変更は、NUREG-2192の2015年12月ドラフト版の起草の結果である。追加の変更は、パブリックコメント期間中に寄せられたパブリックコメントの結果である。NUREG-2192の最終版は、これらの変更点を統合したものである。**”

次ページに主な変更点を示す。

(出典) NUREG2221 Technical Bases for Changes in the Subsequent License Renewal Guidance Documents NUREG-2191 and NUREG-2192
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr2221/index.html>

⇒GALL-SLRのGALLからの変更点、SRP-SLRのSRPからの変更点はともに、主に、ガイダンスの明確化又は改善を図るもの並びにパブリックコメントを反映するための。(変更箇所と根拠の詳細はNUREG2221に示されている。)



✓ SRP-SLR(NUREG-2192)のSRP-LR(NUREG-1800, Rev. 2)からの主な変更点は以下のとおり:

- 序章において、10CFR Part54がSLR (Subsequent License Renewal)にも適用され、NRCはSRLに関する特別な規定を採用していないことを記載。
- 2011から2016年に発行されたLR-ISG(10件)の反映。
- SRP-SLRの5章として“Technical Specifications Changes”(技術仕様書の変更)が追加され、延長運転期間中に経年劣化管理のために必要となる技術仕様の変更を検討するための審査ガイダンスと、ライセンス更新申請で技術仕様変更案の変更点を審査するための審査ガイダンスを提供。

(出典) NUREG2221 Technical Bases for Changes in the Subsequent License Renewal Guidance Documents NUREG-2191 and NUREG-2192
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr2221/index.html>



- DOE及びEPRIとの協定に基づく2回の国際会議(2008年、2011年)、IAEAの国際会議PLiM(2012年)等における議論及び過去数年にわたる関連情報の検討の結果、NRCスタッフは、60年超運転での最も重要な技術課題について以下のとおり見解を示している。

次ページに
主な項目を示す。

...the staff currently believes the most significant technical issues challenging operation beyond 60 years are reactor pressure vessel embrittlement (原子炉圧力容器の照射脆化); irradiation-assisted stress corrosion cracking of reactor internals (炉内構造物の照射誘起応力腐食割れ(IASCC)), concrete structures and containment degradation (コンクリート構造物及び格納容器の劣化); and electrical cable qualification and condition assessment (電気ケーブルの認証及び状態評価).

- これに対し、NRC委員会、上記技術課題に関しては、継続的に取り組み状況を報告する様にNRCスタッフに指示している。(Staff Requirements Memorandum on SECY-14-0016)

(出典) <https://www.nrc.gov/reactors/operating/licensing/renewal/slr/background.html>

SECY-14-0016 “Ongoing Staff Activities to Assess Regulatory Considerations for Power Reactor Subsequent License Renewal”



Reactor pressure vessel – neutron embrittlement (原子炉圧力容器の中性子照射脆化)

- Trends for high fluence levels (高フルエンスレベルに関する傾向)
- Surveillance programs (監視試験プログラム)

Reactor vessel internals - high fluence effects (炉内構造物-高フルエンス影響)

- Irradiation-assisted stress corrosion cracking (照射誘起応力腐食割れ)
- Loss of fracture toughness (破壊靱性低下)
- Void swelling (ボイドスウェリング)

Concrete and containment performance (コンクリート及び格納容器のパフォーマンス)

- Long-term radiation and high temperature exposure (長期間の照射と高温曝露)
- Alkali-silica reaction (ASR) (アルカリ骨材反応)

Electrical cables (電気ケーブル)

- Environmental qualification (環境認定)
- In-service testing of cables (ケーブルの供用期間中検査)
- Long-term submersion of low and medium voltage cables (低圧・中圧ケーブルの長期水没)

(出典) NUREG/CR-7153, Volume 1 – 5 “Expanded Materials Degradation Assessment (EMDA)”
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/contract/cr7153/index.html>



原子力エネルギー協議会(ATENA)は、**米国2回目の更新の標準審査要領書(NUREG-2192)に関して日本原子力学会PLM実施基準の「経年劣化事象一覧表」に記載の無い事象として以下の3項目を抽出した。**

- ①アルミ合金使用機器の孔食/隙間腐食/応力腐食割れ
- ②チタン合金使用熱交換器伝熱管の応力腐食割れ
- ③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応力腐食割れ

原子力エネルギー協議会は、**米国2回目の更新に相当する運転期間を想定した場合の知見拡充事項**として、原子炉圧力容器における中性子照射脆化に係る以下の**2項目を抽出した。**

- ①照射脆化予測式の適用上限の見直し
- ②監視試験片再生等

(出典) 原子力エネルギー協議会、「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
<https://www.atena-j.jp/report/2022/03/atena-21me01rev0.html>



AMP	Aging Management Program	経年劣化管理プログラム
AMR	Aging Management Review	経年劣化管理レビュー
ASR	Alkali-silica reaction	アルカリ骨材反応
CFR	Code of Federal Regulations	連邦規則集
CLB	Current Licensing Basis	現行認可ベース
DOE	United States Department of Energy	米国エネルギー省
FSAR	Final Safety Analysis Report	最終安全解析報告書
GALL	Generic Aging Lessons Learned	共通的経年劣化教訓
GIP	Generic Issues Program	共通問題解決プログラム
IAEA	International Atomic Energy Agency	国際原子力機関
IASCC	Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking	照射誘起応力腐食割れ
IPA	Integrated Plant Assessment	統合プラント評価
ISG	Interim Staff Guidance	暫定スタッフガイダンス
LR	License Renewal	運転ライセンス更新
NEI	Nuclear Energy Institute	原子力エネルギー協会
NRC	Nuclear Regulatory Commission	(米国)原子力規制委員会
PLIM	Plant Life Management	IAEA 主催の国際会議 International Conference on Nuclear Power Plant Life Management の略称
PSR	Periodic Safety Review	定期安全レビュー
SLR	Subsequent License Renewal	2回目の運転ライセンス更新
SRP	Standard Review Plan	標準審査要領
SSCs	Systems, Structures and Components	系統、構造物及び機器
TLAA	Time Limited Aging Analysis	時間限定劣化解析