

米国原子力発電所の運転ライセンス更新に関する分析

Analysis of License Renewal at U.S. Nuclear Power Plants

永山 統啓 (Munehiro Nagayama) *¹

要約 米国原子力規制委員会 (Nuclear Regulatory Committee : 以下, NRC) が定める運転ライセンス更新 (License Renewal : 以下, LR) の手続きにより, 米国原子力発電所は初期の運転ライセンス期間である40年を超える運転が可能である。既に数多くの発電所に更新運転ライセンス (Renewed Operating License : 以下, ROL) が発行され, 20年の運転延長に入っている発電所は40基を超えている。また, 米国の原子力エネルギー法には, 我が国の「核原料物質, 核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」(原子炉等規制法) に定める様にLRは「1回限り」との取り決めはなく, 2回目の運転ライセンス更新 (Subsequent License Renewal : 以下, SLR) についても, 政府機関・産業界・学協会の協力のもとで着実に検討され, 概ねルールの枠組みが出来上がり, 2018年には代表発電所の申請が予定されている。SLR時の総運転期間は80年となる。

原子力発電所のLR(SLR)は, 「電力の安定供給」, 「温暖化ガスによる環境問題」, 「雇用・技術の維持」に相当の効果が期待され, その恩恵は市民に還元される。一方, 長期に亘り発電所を安全に運転するためには, 経年変化に対処する方策を予め確立し, 設備機能を健全に維持し続けることが重要である。米国の事業者は, 必要な経年変化管理プログラムを策定して適切な設備保全に努めている。適切な設備保全により, 運転期間40年を超過したプラントの設備稼働率は, 著しい低下は認められず, 90%弱に維持されている。

米国原子力発電所のこの良好な運転実績とエネルギーセキュリティの観点から, 我が国の運転期間延長について考える。

キーワード プラント寿命, 運転ライセンス, 経年変化, 設備保全, LR (SLR)

Abstract The U.S. NRC had implemented the rules for LR (License Renewal) of NPPs (Nuclear Power Plants) and the LR rules allow plus 20-year operation of NPPs adding to initial 40-year term for reactor license. The U.S. NRC has already issued ROL (Renewed Operating License) for over forty NPPs.

The Atomic Energy Act do not limit the number of LR, so the fleet of U.S. Nuclear, including agency, industry and academy, is continuing efforts to develop rules for SLR (Subsequent License Renewal). The framework of SLR rules has been developed and there is a plan of implementation of SLR for a pilot plant on FY 2018. The total operating term of a SLR plant is 80-year.

The LR/SLR of NPPs is effective for stable power supply, greenhouse gas suppression, maintenance of technology, and securing employment. These profits will return to society.

It is important to maintain required function of SSCs (Structure, System, and Components) for period of long term operation of NPPs. The U.S. fleet has established integrated ageing management strategy and each NPPs is developing their maintenance plans for long term operation. These adequate maintenance plans may enable to achieve good capacity factor of LR applied NPPs.

In this report, domestic LR position will be considered by referring the good performance of U.S. NPPs which entered long term operation beyond 40-year and some conditions such as energy security.

Keywords Operating License, Ageing, Maintenance, LR (SLR), Energy Security

1. はじめに

米国の商用原子力発電所の初期運転ライセンス期

間は, 「原子力エネルギー法」および「米国原子力規制委員会 (NRC) の規制」により40年に制限されているが, この40年の根拠は, 技術的な限界で

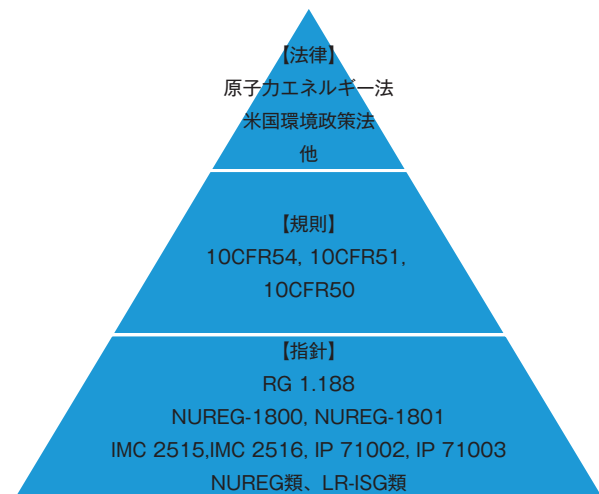
*1 (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

はなく、経済性（投資コストの回収期間を考慮したと云われている）および独占禁止を考慮して設定されたものである。40年を供用期間として設計されている設備であっても、適切な保全（点検、修理、交換）を施すことで、要求される機能の維持が可能である。従って、設備の寿命は、「所定の機能維持と保全に必要な費用が両立する期間」と定義される。米国の原子力発電所の多くは、LR手続きを行い20年の延長運転に入っている。

米国は州により電気事業の形態が異なる。競争原理を重視した自由化州においては、安価なシェールガスの台頭により、経済的理由から廃止措置を決定した原子力発電所が見受けられるものの、米国エネルギー情報局のデータ（www.eia.doe.gov）によると、ここ数年の原子力発電による電力供給量は、総電力供給量のおよそ20%弱に維持されている。米国の原子力発電所の多くは、当初の運転ライセンス期間である40年に達しているので、原子力発電による電力供給量の維持は、LRが大きく寄与しているといえる。LRは、「電力の計画的安定供給」、「温暖化ガスによる環境問題」、「雇用・技術の維持」に相当の効果が期待される。その恩恵は市民に還元される。更に、2回目の運転ライセンス更新（SLR）についても、政府機関・産業界・学協会の協力のもとで着実に検討され、概ねルールの枠組みが出来上がり、2018年には代表発電所の申請が予定されている。規制料金エリア（非自由化州またはゼロエミッションの付加価値を認める原子力発電所救済策を可決した州）の発電所の多くが、SLRを選択すると思われる。SLRを適用した場合の原子力発電所の運転期間は80年となる。このように、米国では、原子力発電所の長期運転に対する大きな枠組みが完成されている。

2. NRCのLR規制活動

LRに関するNRCの規制活動は、最上位の原子力エネルギー法103条を受けて策定されたエネルギーに関する連邦規則のPart54（10CFR54）により規制される。また、運転延長期間に適用する最新のライセンス根拠に対して10CFR51に基づく環境影響評価を要求している。具体的な規制活動は、規制ガイド、標準審査計画書などの各種指針類を策定して運用している。LRに関する規制文書の体系を図1に示し、その概要を説明する。



（出展：NRCホームページ【LICENSE RENEWAL】から作成）
<https://www.nrc.gov/reactors/operating/licensing/renewal.html>

図1 LRに関する規制文書の体系

2.1 LRに関する規制文書の体系

(1) 原子力エネルギー法（1954）

原子力エネルギー法（1954）103条C項に“商用目的の原子力発電所の運転ライセンス期間は40年を超えない期限付きで発給し、期間満了後には更新が可能”と規定されている。なお、運転ライセンスの更新回数に制限はない。

(2) エネルギーに関する連邦規則（10CFR）

a. 10CFR54“原子力発電所の運転ライセンス更新に関する要求”

運転ライセンス更新の目的、定義、範囲、申請内容、発給要件等が規定されている。

b. 10CFR51“環境保護規制”

米国環境政策法を受けて実施するNRCの規制活動および事業者が作成する環境報告書（一般にLR申請書に添付される）の範囲および記載事項が規定されている。

c. 10CFR50“製造および使用施設のライセンス”

原子力発電所の建設および運転に関するライセンスの規制事項、技術基準を規定している。

(3) 規制ガイド（Regulatory Guide：以下、RG）

RG 1.188にてLR申請書の記載項目およびフォーマットを提示、産業界のガイダンスNEI 95-10をエンドースしている。

(4) 標準審査計画書

（Standard Review Plan for Review of License Renewal Applications for Nuclear Power Plans（NUREG-1800）：以下、SRP-LR）

具体的な申請書の内容および審査基準を規定している。申請書の記載内容、対象範囲・スクリーニング方法、経年変化管理レビュー（Ageing Management Review：以下、AMR）の方法、長期間使用時の機器の健全性を確認するための時間限定経年変化解析や特別点検（one time inspection）の方法を規定している。3章のAMRでは、経年変化に関する知見の報告書（Generic Ageing Lessons Learned Report（NUREG-1801）：以下、GALL）を引用しながら、SCC、疲労、腐食等の各種劣化メカニズムに対して適切な経年変化管理プログラムが策定されていることをLR申請書で確認することになっている。

(5) GALL

SRP-LRに示されたAMR等評価用の技術根拠を提供している。様々な設備に考えられる経年変化メカニズム、考慮すべき発生部位、経年変化管理方法等の技術的情報が取り纏められている。

(6) 検査マニュアル

（Inspection Manual Chapter：以下、IMC；
Inspection Procedure：以下、IP）

NRCの規制要求に適合しているか検査する際にNRCスタッフが参照するガイダンスである。IMC 2515“運転段階の軽水炉検査マニュアル”，IMC 2516“LR検査プログラムの方針とガイダンス”，IP 71002“LR検査”，IP 71003“LR承認後のサイト検査”がある。

(7) ライセンス更新用の暫定スタッフガイダンス

（License Renewal Interim Staff guidance：
以下、LR-ISG）

事業者が提出したLR申請書に対するNRCスタッフのレビューに関する実務は、GALLを参照しつつSRP-LRに従い実施されるが、レビューの過程で経験した課題や気付き事項、また、学協会等が発行する最新知見に対処するため策定した暫定的なガイダンスである。

これは最終的に既存の規制文書に反映される仕組みとなっている。

(8) NUREG（NPAR）類

ライセンス根拠の説明、原子力発電所の経年変化研究（NPAR）成果などの技術レポートをNUREGシリーズ等に整理している。一例として、NUREG-1412“認可根拠の基礎”，NUREG-1437“原子力発電所のLRに関する一般環境影響声明”，NUREG-1555“原子力発電所の環境レビュー

における標準審査計画書”，NUREG-1568“LRの実証プログラム：NRCの観察事項および教訓”，NUREG-1611“LRのための原子力発電設備の経年変化管理”，NUREG-1739“改善したLRガイダンスに対するパブリックコメントの分析”，NUREG-1144“NPAR計画と成果”などがある。

2.2 LR審査のフロー

図2にLR審査のフロー図を示す。10CFR54に基づく技術的な安全レビューおよび10CFR51に基づく環境レビューが実施される。

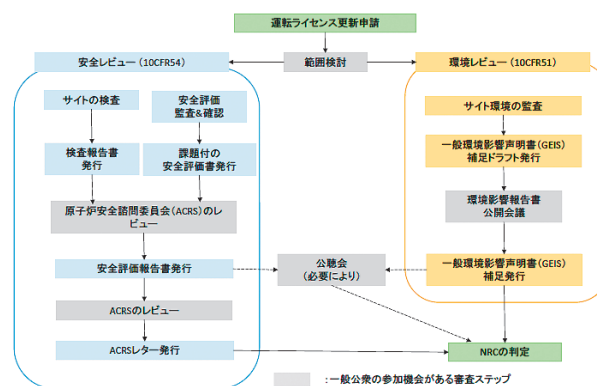
各レビューには、公衆の参加が可能な審査ステップを設けている。NRC（本委員会）は、安全レビューと環境レビューの結果を確認して運転ライセンス更新を認めるか判断する。

(1) 安全レビュー

NRCスタッフは、事業者が作成したLR申請書に基づきサイトの検査と安全評価を実施しその結果を検査報告書および課題付の安全評価書に取り纏めて原子炉安全諮問委員会（Advisory Committee on Reactor Safeguard：以下、ACRS）に各報告書のレビューを求める。ACRSのレビュー完了後にその結果を反映して改正した安全評価報告書を発行し、再度ACRSのレビューを受ける。ACRSは、NRCスタッフが作成した安全評価書に対してNRC（本委員会）宛てにレターを発行する。

(2) 環境レビュー

NRCスタッフは、事業者が作成した環境報告書を参考にサイト環境の監査を行い、一般環境影響声明書（GEIS）補足ドラフトを発行し公開会議での議論を反映しGEIS最終版を発行し、NRC（本委員会）に報告する。



（出展：NUREG-1350, Vol.28, p.34）

図2 LR審査のフロー

3. LR時に考慮すべき経年変化事象

原子力発電所の経年変化事象は、これまでの40年を超える運転経験および研究調査活動により明らかにされ、この成果はGALLに取り纏められている。更に、80年運転に向けた課題を調べるために、EMDA手法^{*2}を用いて経年変化事象をランク付けし、この結果をNUREG/CR-1753“Expanded Materials Degradation Assessment (EMDA)” (Vol.1-Vol.5) に整理している。対象設備は、①炉内構造物および配管系、②原子炉容器鋼材、③コンクリート構造物、④電力および計測制御ケーブルである。80年運転に向けて、更に長期的視点からのデータ拡充（例えば、高照射領域の材料データ拡充）が推奨されるものの解決困難な経年変化事象は確認されていない。

4. 米国原子力発電所の運転実績

4.1 運転年数毎のプラント数

2016年末時の運転中の米国原子力発電所は100基ある。運転年数毎のプラント数を表1に示す。運転年数40年以上発電所は、45基ある。10年後には、83基と80%以上の発電所が初期の運転ライセンスを終えることになる。

表1 運転年数毎のプラント数 (2016年末)

運転年数 (年)	1-19	20-29	30-39	40以上
プラント数 (基)	1	16	38	45

(出展：NUREG-1350, Vol.28, p.33)

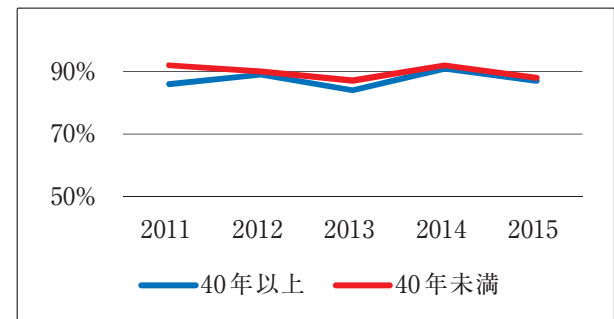
4.2 NRCによるROL発行状況

2017年6月現在、NRCが、ROLを発行したプラントは87基（内、Fort Calhoun発電所、Kewaunee発電所、Vermont Yankee発電所の3基は永久停止を決定）、審査中が8基ある。また、申請を計画中のプラントは5基ある。2009年にDresden発電所、Oyster Creek発電所、R.E. Ginna発電所が延長運転に入って以降、これまでの数多くの審査経験が蓄積され、規則の整備により審査は特別難しいも

のではなく、より効果的・効率的な審査が指向されている。また、審査が長引き運転ライセンス満了までに審査が完了しない場合には、継続運転が認められている。

4.3 米国原子力発電所の設備稼働率の比較

最近の米国原子力発電所の設備稼働率は、最適な保全計画、発電所管理の向上、出力増強の成果により、非常に良好で、90%弱を維持している。図3に示す通り、運転期間が40年以上の発電所の設備稼働率（青線）は、40年未満の発電所のそれに比して数ポイント低い傾向はあるが大きな違いは認められない。この数ポイントの違いは、長期運転を保証するための経年変化管理プログラムのうち、停止点検時のクリティカル工程に影響する保全活動（点検、修理、交換）によるものと推測している。この高い設備稼働率の実績から、40年を超える高経年プラントに解決困難な技術的問題は生じていないと考えられる。



(出展：NUREG-1350, Vol.28, APPENDIX “A” のデータシートより作成)

図3 設備稼働率の比較

また、INSSの原子力海外情報プロジェクトで実施している海外原子力プラントのトラブル分析の結果からも、解決困難な経年変化事象は確認されていない。

運転時間が先行している米国原子力発電所の運転実績は、長期運転に必要な知見を与えるものであるから、これに学ぶことは重要である。

*1 EMDA手法: Expanded Materials Degradation Assessmentの略語。経年変化事象を識別してランク表により評価するため、「経年変化モードに対する感受性」および「最新の知見とのギャップ(満足度)」により各専門家が評価し、ランク付けする。この手法は、①最新知見の入手、②今後研究が必要な潜在的な知見ギャップの識別、③潜在的な新規劣化事象の識別と優先順位付、に役立っている。

5. 我が国のLR

5.1 原子力発電の位置付け

健康的で豊かな生活を享受するためには、一定規模のエネルギーが不可欠である。エネルギー源は、「化石燃料」、「原子力」、「再生可能エネルギー」に大別される。それぞれの長所および短所を踏まえた最適配分が理想とされる。このうち原子力発電は、資源小国である我が国のエネルギーセキュリティの観点から有利で、かつ、地球温暖化ガスを排出しないベースロード電源として期待される。

ウラン燃料は、政情の安定した国々に埋蔵され、少量の燃料で長期間発電に使用することが可能な上、再処理することで再び燃料として使用することが出来る。この特徴から、準国産エネルギーとして位置付けることが可能な原子力エネルギーは、我が国にとって貴重な財産である。

しかしながら、現状は、原子力発電所の再稼働や新規リプレースが計画的に進まないため、エネルギー基本計画（2014年）に示された2030年度の電力需給構造に対する原子力エネルギーの配分（20-22%）を維持することは、極めてハードルの高い目標に見える。米国と同様にLRによる原子力発電所の有効活用が期待される。

5.2 福島第一発電所事故と新規制基準

福島第一発電所事故の根本的な原因は、津波への備えが不十分であったためである。その後、原子力規制委員会が制定した新規制基準は、津波を含めて考えられる外部事象に対して十分な備えを要求するものとなっている。従って、その新規制基準に適合するために安全対策を講じて再稼働が認められた原子力発電所は有効に活用できる。

5.3 我が国のLRの特徴

我が国のLRは、原子炉等規制法により、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、（上限20年の）延長しようとする期間において、前述の新規制基準に適合することが求められている。従って、防波堤や水密扉等の浸水対策、高台への可搬式電源の設置、原子炉格納容器の耐震補強など様々な安全対策を完結することが前提であ

る。また、米国と同様に想定される経年変化事象に対して必要な技術評価を行い、適切な保全が行われることを原子力規制庁が定める審査要領に従い確認する。更に、我が国独特の規制要求として、原子炉容器炉心領域母材の100%非破壊検査、コンクリート構造物の調査、など、重要設備の特別点検が課せられている。

6. まとめ

- ・米国原子力発電所の20年の延長運転（60年運転）のLR手続きは、標準化が進み、既に40基を超える実績がある。
- ・20年の延長運転に入った米国原子力発電所の最近の稼働率は90%弱を維持し、解決困難な経年変化事象は生じていない。
- ・米国では、更に20年の運転延長（80年運転）が計画されている。
- ・我が国のLRは、延長する運転期間において新規制基準に適合させるとともに、経年変化事象に対する技術評価を行うことに加え、重要設備の特別点検が要求される。
- ・原子力発電所のLRは、エネルギーセキュリティおよび温暖化ガス削減に対する有効な手段となっている。

7. 結言

原子力発電所のLRは、エネルギー需給構造における原子力発電の配分を維持するのに一定の役割を果たすと考えられるが、これだけでは持続可能な方策といえない。国民の生活に重要なエネルギー選択の議論は、国情に応じて検討されなければならない。例えば、参考に取り上げられるドイツには、エネルギーセキュリティおよびコストの面で有利な自前のエネルギー源（褐炭）が豊富に有り、他国と連系される電力網が整っているため、我が国と国情が大きく異なることに留意が必要である。将来、我が国のエネルギーセキュリティを根本から確認する必要性が生じ、原子力発電の在り方について更に議論が必要になることを否定できない。少なくとも技術伝承を確実にし、原子力エネルギーを有効に活用する選択肢を残しておきたい。

参考文献

- (1) U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG-2191, "Generic Aging Lessons Learned for Subsequent License Renewal (GALL-SLR) Report," Volume 1, February 2017.
- (2) U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG-2191, "Generic Aging Lessons Learned for Subsequent License Renewal (GALL-SLR) Report," Volume 2, February 2017.
- (3) U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG-2192, "Standard Review Plan for Review of Subsequent License Renewal Applications for Nuclear Power Plants," February 2017.
- (4) U.S. Nuclear Regulatory Commission, Manual Chapter 2515, "Light-Water Reactor Inspection Program-Operation Phase," March 28, 2017.
- (5) U.S. Nuclear Regulatory Commission, Manual Chapter 2516, "Policy and Guidance for the License Renewal Inspection Program," August 13, 2013.
- (6) U.S. Nuclear Regulatory Commission, Inspection Procedure 71002, "License Renewal Inspection," November 23, 2011.
- (7) U.S. Nuclear Regulatory Commission, Inspection Procedure 71003, "Post Approval Site Inspection for License Renewal," July 8, 2016.
- (8) U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG 1801, "Generic Aging Lessons Learned (GALL) Report," Revision 2, December 2010.
- (9) U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG-1350, Volume 28 "Information Digest, 2016-2017," September 2016.
- (10) U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-7153, Volume 1-Volume 5, "Expanded Materials Degradation Assessment (EMDA) ," October 2014.
- (11) Nuclear Energy Institute, "Second License Renewal: Nuclear Plant Operations Beyond 60 Years," December 2016. (ML17088A885).
- (12) Report on the Commission's Progress To Be Fully Prepared To Effectively and Efficiently Review Any Subsequent License Renewal Applications by Mid-2017, June 2, 2017. (ML17135A350).