

海外原子力発電所の長期運転への対応動向について

Status of Long time operation in overseas nuclear power plant

日本エヌ・ユー・エス株式会社 大久保 友輝夫 Yukio OHKUBO Member
日本エヌ・ユー・エス株式会社 中村 理恵 Rie NAKAMURA Member

Abstract

Now, 22% of the world's nuclear power plants are operating beyond 40 years. By 2020, about 30% of the world's nuclear fleet will be 40 years old. Long time operation (LTO) of existing plant is a key objective in many countries. We need to understand anticipate and mitigate the degradation in nuclear power plants. IAEA have made the guidelines about long time operation and opened PLIM conference once in 5 years. In the United States, industry and NRC/DOE have started research program on the subsequent license renewal to maintain NPPs as high performance electrical source, its program is possible to operate beyond 60 years.

Keywords: License Renewal, Degradation, Long time operation, LTO, beyond 60,

1. 海外原子力発電所の運転状況

現在、世界の原子力発電所では長期運転に向けた対応が進められており、世界最古の原子力発電所であるスイスのベツナウ1号機は、1969年に運開し、現在、運転50年目である。国際原子力機関（IAEA）によると、現在、世界で451基の原子炉が運転しており、そのうち全体の約22%である99基は40年を超えて運転を継続している（図1参照）。

世界の原子力発電所は、1960年代から建設が始まり、1970年代、1980年代と各国にて建設ラッシュとなった。日本が有している軽水炉である沸騰水型原子炉（BWR）と加圧水型原子炉（PWR）に加えて、世界では、ロシア型加圧水型原子炉（VVER）、ガス冷却炉、カナダ型重水炉（CANDU）等、多くの種類の原子炉が運転している。また、近年は、AP1000、欧州型PWR（EPR）といった大型新型炉の新規建設が進んでいる状況である。

世界の長期運転に関する規制枠組みは、大きく分けて2つあり、一つ目が米国を代表とする運転認可申請による運転延長であり、もう一つは、フランス等の欧州で主流である定期安全レビュー（PSR）による運転延長である。前者は、運転認可取得時に認可期限が決められており、

その期限を超える場合に延長申請を行う方法である。後者は10年毎にプラントの健全性を確認することにより、その後の10年の運転を認める方法である。米国では、運転認可期間を40年と定めているが、これは技術的な観点での制限ではなく、原価焼却期間、独占禁止法の面から定められた期間である。

2000年代に入ると、各国原子力プラントで、当初の運転認可期間または設計寿命である40年（VVER等の一部のプラントでは30年）を超えるプラントが現れた。電力需要の増加に対応するにはこれらの発電所の運転継続が必要であるため、1990年代後半になると、各国規制機関は長期運転（LTO）を実施するための規制枠組みを構築した。

IAEAが集計したデータによると、40年を超える運転を実施しているプラントの計画外のプラント停止数が、極端に少ないことがわかる。これは40年超運転に向けて各プラントにて改造工事、機器取替等を実施したからであると考えられる（図2参照）。

連絡先：大久保 友輝夫、〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-25 日本エヌ・ユー・エス株式会社 エネルギー技術エッセ
E-mail：okubo-y@janus.co.jp

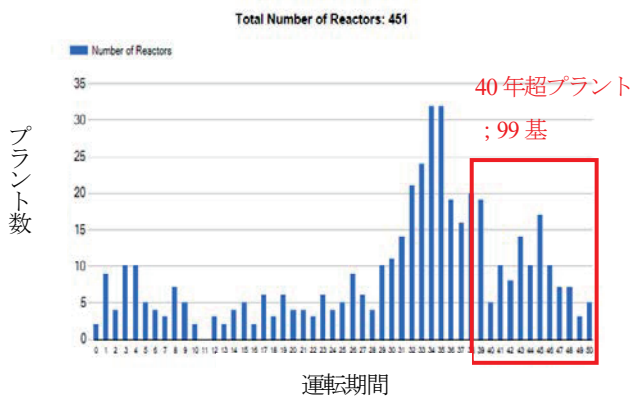


図1 運転期間別のプラント数

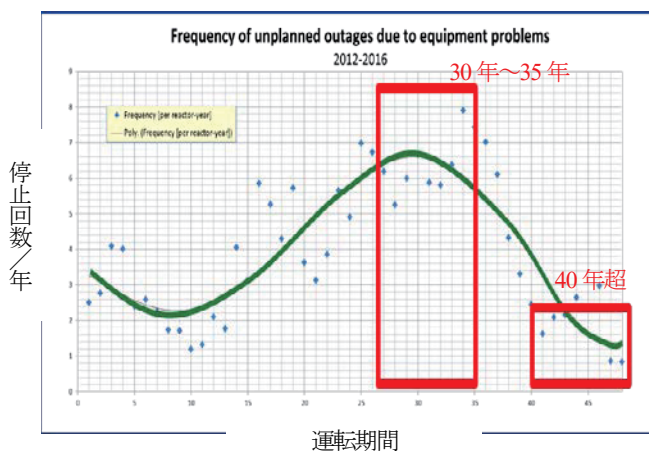


図2 運転期間別の計画外プラント停止回数

2. IAEA の LTO に関する活動

2.1 LTO に関する IAEA ガイダンス類

IAEA は LTO に関する支援活動を行っており、その一つとして、ガイダンス類の作成・整備が挙げられる。主なガイダンスとしては、以下の3つがある。(図3参照)

- Safety Guide SSG-48 「LTO のための経年劣化管理」
- SRS No.82 「国際版 GALL 報告書」改訂版1 (2018年12月)
- SS No.26 「SALTO ガイドライン」(2014年)

Safety Guide SSG-48 には、原子力発電所の経年劣化管理と LTO についての基本的な考え方や方針が示されており、SRS No.82 (IGALL ; International Generic Aging lessons Learned) は、水冷却炉を対象とした最新の経年劣化管理をまとめた文書であり、84 の経年劣化管理プログラム (AMP)、28 の期間限定経年劣化解析 (TLAA)、2100 行

以上の経年劣化管理レビュー (AMR) 表から構成されている。2018 年 12 月末に改訂版 1 が IAEA の HP にて公開された。また、SS No.26 (SALTO ; Safe Long Time Operation) には、IAEA によるプラントの長期運転に向けた準備状況に対するピアレビューの要領が示されている。

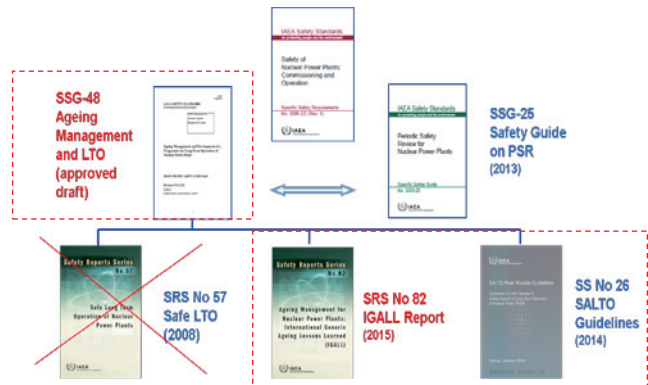


図3 LTO に関する IAEA 発行ガイダンス

2.2 IGALL

1990 年後半以降、運転開始時からの経年劣化管理の重要性が唱えられていたため、IAEA にて IGALL の策定が検討された。

2008 年から 2 年間、IGALL の策定方針、骨子、計画について検討が行われた。2010 年 9 月に運営グループ会議が行われ、AMR 表、AMP の情報の一部の案について、参加加盟国の合意が得られ、2010 年 12 月より特別予算プロジェクトが開始された。その後、更に技術的に細かい議論を行うため、WG1 (機械)、WG2 (電気・計装)、WG3 (土木構造物) に分かれて作業を行うこととなり、各ワーキンググループで作成した AMR 表、AMP、TLAA 等を運営グループ会議にて諮り、SRS No.82 を 2015 年 4 月に発行した。

この IGALL はリビング文書として、少なくとも 5 年毎に更新することとなっている。2016~2017 年にかけて、IGALL Phase3 会議が開催され、その内容を反映した SRS No.82 の改訂版 1 は 2018 年末に発行された。

さらに、2018 年より開始された Phase 4 では、これまでの WG1~WG3 に加えて、WG4 (規制)、WG5 (長期停止・建設長期化・廃止措置開始までの NPP における経年劣化管理) が追加されている。

2.3 SALTO ピアレビュー

IAEA は、2003 年から軽水炉の長期運転の安全面に関

する SALTO プログラムを実施しているが、その一部として、各国の要請に応じて特定のプラントに対する長期運転の安全面のレビューを行なっている。これは SALTO ピアレビュー・サービスと呼ばれている。

この SALTO レビューを受けるメリットとして、以下が挙げられる。

- ・ IAEA 基準に対する適合性がレビューされる。
- ・ IAEA 基準に適合するための改善事項の勧告を受けることができる。
- ・ 発電所の運転員やスタッフが、原子力安全や高経年劣化管理の専門家と議論する機会が得られる。
- ・ 公衆の信頼性を高めることができる。
- ・ 運転認可期間更新あるいは長期運転の手続きとして活用できる。

また、SALTO ピアレビューは4段階に分けて実施され、詳細は以下の通りである。

○ステップ1；

IAEA の安全基準及び SALTO レビューの方法に関するワークショップあるいはセミナーの実施。

○ステップ2；

Pre-SALTO ミッションの実施。長期運転期間に入る2～7年前に実施する。約8日間のレビュー。

○ステップ3；

SALTO ミッションの実施。この SALTO ミッションのチームには、外部の専門家が含まれる。専門家は、インタビュー、サイトのウォークダウン、提出された文書のレビュー、事業者との議論、勧告及び示唆の提示を行なう。約8日間のレビュー。

○ステップ4；

SALTO フォローアップミッションの実施。ステップ3の SALTO ミッションで抽出された問題点に関して、それらがどのように改善されたか、または改善策が進捗しているかをフォローアップする。4日間のレビュー。

2.4 PLIM 会議の開催

IAEA は、原子力発電所の寿命管理に関する国際会議（PLIM 会議）を5年に一回開催している。この会議は、第1回が2002年にハンガリーのブタペストで、第2回が2007年に中国の上海で、第3回が2012年に米国ユタ州ソルトレイクシティで開催され、第4回が2017年11月にフランスのリヨンで開催された。この第4回 PLIM 会議では、IAEA 加盟国39カ国、4組織から327人が参加者

として参加し（展示、サポートスタッフを含めると約420人）、10件の基調講演、約110件の発表、28件のポスター発表が行われた。

この PLIM 会議の目的は以下とされている。

- ・ 原子力発電所の安全運転における PLIM の役割を強調する。
- ・ 経年劣化管理及び PLIM プログラムの適用に関する国内・国際的な政策、規制施策、並びに安全文化についての情報交換の場を提供する。
- ・ 経年劣化、経年劣化管理、並びに長期運転の安全性の側面に関連する重要な要素及び良好事例を提供する。
- ・ 評価手法を含めた PLIM プログラムの経済的影響を特定する。
- ・ IAEA 加盟国が各国 PLIM プログラムに最新の技術を反映することを支援する。

3. 米国の認可更新に関する活動

3.1 40年を超える運転認可更新（LR）

米国の原子力発電所の運転認可は、1954年原子力法により、40年までの期間に対して発給すると定められているが、認可期間満了後はこれを更新してもよいとされている。米国原子力規制委員会（NRC）は、40年の運転認可が満了しても運転を続けることができるよう規制の整備を進め、原子力発電所の運転認可更新（LR）に関する規則（10CFR Part 54）を作成した。

米国では、1998年の Calvert Cliffs-発電所での LR 申請を初め、その後多くのプラントが更新申請をし、60年までの更新認可を取得した。現在は、運転プラント99基中、94基が60年運転までの更新認可を取得した。

LR に関する代表的なガイドラインとして、NUREG-1800「運転認可更新申請の標準審査指針（SRP-LR）Rev.2」と NUREG-1801「経年劣化に関する知見報告書（GALL）Rev.2」があり、前者はNRC審査官の審査指針で、後者は一般的な経年劣化メカニズム、AMP、TLAA をまとめたものである。

3.2 60年を超える2回目の運転認可更新（SLR）

米国では、更新認可を取得したプラントが94基あり、現在は2回目の運転認可更新（SLR）に関する対応を、NRC、EPRI、産業界組織 NEI、各事業者にて進めている。この SLR は、運転期間を60年から80年に延長するものである。

SLRに関する規制ガイダンスとして、2017年7月10日にNRCが、NUREG-2191「GALL-SLR」、NUREG-2192「SRP-SLR」を公表した。2019年5月時点では、以下の通り6基がSLRを申請している。またこの他に7基のプラントが今後申請する予定であることを表明している。

○SLR申請プラント；6基

Turkey Point-3,4 (PWR) (2018年1月31日申請)

Peach Bottom-2,3 (BWR) (2018年7月10日申請)

Surry-1,2 (PWR) (2018年10月15日申請)

また、SLRに関する検討及び研究は現在も継続して実施されている。以下に、NRCの検討内容、研究事項を示す。

(1) RPV及び炉内構造物の劣化

- ・ ステンレス鋼及び溶接部に対する照射誘起応力腐食割れ (IASCC) と破壊靱性
- ・ オーステナイト系ステンレス鋼の破壊靱性
- ・ 廃止措置中であるスペイン Zorita 発電所から入手した、高フルエンス環境 (50dap) に晒されたステンレス鋼プレートに対する試験
- ・ Zorita 発電所から入手したステンレス鋼溶接部の破壊靱性

(2) RPV の中性子照射脆化

- ・ 高フルエンス環境におけるデータ収集
- ・ 中性子照射脆化のさらなるメカニズムの解明
- ・ 米国産業界全体の中性子照射脆化のデータの蓄積計画策定

(3) コンクリート構造物の劣化

コンクリート構造物の劣化事象の内、運転の長期化に伴い特に発生が懸念されるアルカリシリカ反応 (ASR) に対して、以下の対応を進めている。

- ・ 設計基準条件での、ASR によるコンクリートの構造性能が受ける影響の評価
- ・ ASR とコンクリート骨材の関連性の研究
- ・ 米国エネルギー省 (DOE) とテネシー大学にてアルカリシリカ反応の共同研究を実施

(4) ケーブル劣化と状態監視

- ・ 高温、放射線及び高湿度環境下で経年劣化したケーブルサンプルに対して、試験を実施する予定。試験は経年劣化したケーブルだけでなく、新しいケーブルでも実施し、結果を比較。

- ・ ケーブルに対して80年運転までの健全性の評価方法を検討
- ・ ケーブルの経年劣化に対して、原子力以外の産業界のAMPが原子力発電所に適用できるかの検討

4. まとめ

世界の原子力発電所の20%以上が、40年を超える運転期間に入っている。IAEAでは、長期運転に関するガイダンスの整備、ピアレビュー等を行い、原子力発電所の安全な長期運転を支援している。一方、米国では、60年を超える運転に対する準備を進めており、2017年にNRCからSLRに関するガイドラインが公表され、2019年5月時点で6基がSLRの申請を行い、審査中である。

参考文献

- [1] IAEA PRIS (Power Reactor Information System), “Operational Reactors by Age”.
- [2] Ki-Sig Kang, PLIM Technical Head Division of NENP Department of Nuclear Energy, “IAEA Contributions to Plant Life Management and Long Term Operation”, 23/10/2018.
- [3] IAEA, “Safety Reports Series No.82 Ageing Management for Nuclear Power Plants: International Generic Ageing Lessons Learned”, 2015.
- [4] IAEA, “Services Series 26 SALTO Peer Review Guidelines”, 2014
- [5] The Atomic Energy Act of 1954.
- [6] NUREG-1801, Vol.1, Rev.2, “Generic Aging Lessons Learned (GALL) Report; Summary”, December 2010.
- [7] NRC Technical Report, “Review of Aging Management Programs : Compendium of Insights from License Renewal Applications and from AMP Effectiveness Audits Conducted to Inform Subsequent License Renewal Guidance Documents”, June 15, 2016.