

解説 記事

IAEA での知識データベース (IGALL) について 2014 年解説記事の続編

(株) 原子力安全システム研究所 [INSS]

研究主幹 兼 上席研究員

田中 秀夫 Hideo TANAKA

1. 緒言

国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency ; IAEA) から発行された安全報告書、IGALL (International Generic Ageing Lessons Learned ; Safety Report Series No. 82, (2015))^[1] については、リリース 1 年前の 2014 年 2 月の当学会誌に解説記事を掲載した。以来 5 年という歳月が経過した。本稿では、その後 IAEA の場でどのように IGALL に関する改善活動が継続してきたのか、考察を含めまとめてみる。

2. 考察

2.1 2014 年までの経緯

2008 年 5 月から準備会合を開始し、2 年半かけて取組方針と具体的な成果例を作成した。2010 年に技術会合で承認され、フェーズ 1 が開始した。2013 年までの 3 年の作業期間で、以下の 3 点を作成した。対象は PWR と BWR と CANDU である。

—AMR table; Ageing Management Review table

—AMP; Ageing Management Programmes

—TLAA; Time Limited Ageing Analyses

日本の高経年化対応との関連としては、AMR は、日本原子力学会の「原子力発電所の高経年化対策実施基準」にある、機器・部品に展開した経年劣化まとめ表も踏まえたものになっている。AMP は、日本の規制要求となっている「高経年化技術評価書」を機器・構築物又は経年劣化事象で分類しまとめたようなものであり、TLAA は、その評価書の中の健全性評価のうち、寿命評価にあたる部分であると考えると理解しやすい。

当時は、参加加盟国から収集した内容は、AMR table の様式で 7000 行に及んだが最終的には AMR テーブルは 2400 行にまとめられ、76 個の AMP、27 個の TLAA が、データベースに格納されていた。現在では、2600 行の AMR と 92 個の AMP、28 個の TLAA と増えている。

フェーズ 1 の成果物が公開 (実績 2015 年 4 月) される前に、フェーズ 2 (2014-2015 年) が開始され、WWER と CANDU 炉と電気計装関連の充実を図っている。当初フェーズ 1 では、3 つのワーキンググループ (機械 WG・電気計装 WG・コンクリート WG) で始めたものの、4 つに増やして活動を展開している。また、Steering Group と Clearing Group を統合し、Steering Committee が組織され、当時の原子力安全基盤機構 (JNES) が日本代表として参画し、JNES が原子力規制庁 (NRA) に統合された後も、継続して NRA が日本の代表として参画している。当初の 3 つの WG の作業には産業界からも電力とコンサルタントが参画し、その結果は日本の各機関で共有されている。

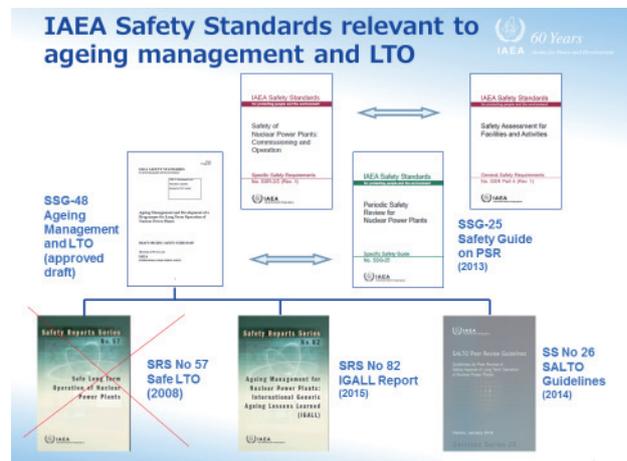


図 1 長期運転に関する IAEA 標準 (IGALL-HP^[2] より引用)^[3]

2.2 2014 年以降の取組状況

IGALL の成り立ちからその役割まで、解説した前記事を執筆した当時は非公開であったが、具体的な経年劣化管理ツールであるとして IAEA 内部で公開のための手続きが進められ、1 年後の 2015 年 4 月に IGALL 安全報告書 SRS-82 としてリリースされた。

その全体構成は、2009 年の技術会合議長声明にある「定期的に (少なくとも 5 年毎) 更新する」ことを実現す

るために、IGALL の基本的要求のみを記述し、個別の AMR,AMP,TLAA は IAEA-web サイトの IGALL ホームページ^[2]に順次最新版を掲載し、自由に参照できるようになっている。

具体的には、SRS-82 の本文が 5 つの章、4 つの付録から構成され、1 章では背景、目的と範囲を、2 章では AMR テーブルの構成及び活用方法を、3 章では AMP の基本的な考え方と 9 つの項目の詳細な説明を、4 章では TLAA の定義と役割を、5 章では用語の概要を、記載している。付録 I では、参加加盟国から入手した情報に基づく AMP のリストを、付録 II では、同じく TLAA のリストを、付録 III では、用語の詳細な定義を表にまとめ、付録 IV では、格納容器以外の土木建造物の分類が記載されている。

2014 年から開始したフェーズ 2 では、機械とコンクリートの WG は休止し、WGCANDU, WGWWER, WGE&IC, WG Obsolescence の 4 つのワーキングで活動を展開させ、新たに 8 つの AMP と 1 つの TLAA、さらに、Obsolescence (陳腐化) に関して TOP401; 技術的陳腐化プログラムを作成している。この Obsolescence については、IGALL の AMP に含めることを日本側から提案したものであり、後節で詳細を述べる。

2016 年から開始されたフェーズ 3 では、再度、3 つの WG に作業体制を戻して、最新知見の反映などを行い、8 つの AMP、1 つの TLAA の追加・改善を図るとともに、昨年 2018 年 11 月に発行された IAEA 安全指針 (No. SSG-48) Ageing Management and Development of a Programme for Long Term Operation of Nuclear Power Plants^[4] の原案 (公開手続き案) との整合性も検討され、IGALL は、SSG-48 において、経年劣化管理の有力な支援ツールとして位置づけられた (図 2 参照)。さらに、SALTO (Safety Aspects of Long Term Operation) および OSART (Operational Safety Review Teams) ミッションでこの IGALL を活用し、発電所の保全活動をレビューするといった現場で実践的に活用され、14 か国で IGALL 活用に関するワークショップや支援事業が展開されている。

さらに、現在は、フェーズ 4 (2018~2019 年) に移行しており、新たな 2 つの分野について WG を立ち上げている (図 3 参照)。一つは、規制者向けのガイダンス作成であり、もう一つが、長期停止中プラントの経年劣化管理である。後者については、①建設が中断または長期間要したプラントの管理、②現在の日本の多くのプラントのような運転を中断して長期に停止しているプラント

の管理、③廃止措置が決定し運転を停止したプラントの管理、これら 3 つの課題について検討が開始されている。引続く 2019 年以降の活動についても、2017 年の Steering Committee で承認されていることから、フェーズ 5 に移行することが考えられ、着実に改善が図られるルーチンが構築されている。

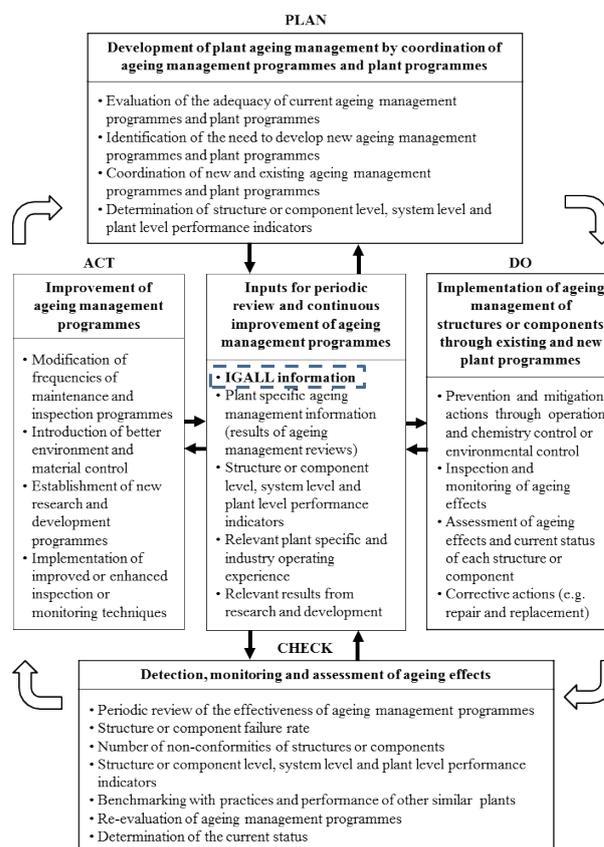


FIG. 5. Development, implementation, review and improvement of ageing management programmes.

図 2 経年管理プログラムの PDCA (SSG-48^[4]より抜粋)

フェーズ 4 の活動状況は関係者の聞き取りによれば、従来の 3 つの WG において、web の IGALL データベース (AMR・AMP・TLAA) の充実が図られており、米国 NRC から発行された「Generic Aging Lessons Learned for Subsequent License Renewal (GALL-SLR) Report」(NUREG-2191, Volume 2) の反映や AMP の新規作成・改訂の検討 (光ケーブル、電気計装の交換部品、使用済燃料プール、コンクリートの放射線劣化、格納容器の疲労) や AMR の新様式の検討が行われている。さらに、SRS-82 の更新を目指して、機器スコープの設定や経年劣化管理の有効性モニタリングなどの包括的 AMP の作成、保全プロセスと経年劣化管理プログラムとの関係性についての記載を追記する検討がなされている。

また、個別タスクとして、先にも述べたように、規制

者向けのガイダンス作成と、長期停止中の経年劣化管理に関する技術図書 (TECDCOC) 作成が鋭意進められている。検討体制は以下のとおり。



図 3. IGALL (Phase4)検討体制) [5]

2.3 炉型の異なる事象からの展開

IGALL で抽出された経年劣化事象には劣化機構が未解明のものもあるが、それらを含めた事象の発生を想定した保全活動が展開されており、発電所の安全運転に支障が出ることはない。それでも、劣化機構解明は現場の保全活動の合理化に寄与できるだけでなく、新しく建設するプラント設計にも展開が期待できるため、積極的な研究が待たれる。有効な活用事例を紹介する。

PWR プラント特有の 1 次冷却水中応力腐食割れ (PWSCC) においては、日本製の X750 合金だけが再発しておらず、また、蒸気発生器伝熱管に使用している 800 合金および 690 合金製は PWSCC が未だ発現していない。しかし、近年の研究で、690 合金で強加工された場合には、き裂進展が認められている。この機構解明は道半ばではあるが、き裂が発生する場所が表面ではなく、表面近傍であるというデータが多数報告されている。PWR プラントではなく、CANDU 炉で発生した炭素鋼製配管の内外面でき裂が観察された事をきっかけに有岡ら^[6]が研究を進めた結果、表面から数 100 μm の深さでキャビティが発生し、き裂に発達したと考えられるデータが取得された。この劣化機構がき裂開口幅の狭い 690 合金の PWSCC と共通しているのではないかと考え、研究を進めて同様のデータが採取された。これについては、米国国立研究所で追試され、同様のデータが採取されたとの報告がある^[6]。この最新知見は、材料や環境が異なるという理由だけで、他の炉型での経験が経年劣化事象を解明するために活用されないということは必ずしも正しくないことを示す事例である。このように、他プラントの経験のみならず他の炉型の経験も参考に、自身のプラントの信頼性を向上させて安全性も同時に向上するために、炉型を問わずに現象そのものを理解するための国際協業の意義は大きい。

2.4 日本における IGALL の活用

2.4.1 原子力学会標準への反映

日本原子力学会の原子力発電所の高経年化対策実施基準 :2008 は、「高経年化技術評価を実施した原子力発電所の知見を基に原子力発電所を構成する機器ごとに想定される経年劣化事象を“経年劣化メカニズムまとめ表”として取りまとめたものである。IGALL の AMR はこれを参考としたものである。また、「10 年ごと及び運転開始 30 年以降の高経年化対策について、それぞれ経年劣化事象に対して実施する標準的な評価の手法を規格化」とあり、IGALL の TLAA 策定に参照されている。

さらに、2015 年度版では、「原子力規制委員会“実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド (原子力規制委員会, 平成 25 年 12 月 6 日)”及び東日本大震災から得られた知見の反映として、評価対象機器及び評価対象期間の考え方を整理して、長期停止中のプラントの技術評価、耐津波安全性評価及び高経年化対策検討の有効性評価を規定した。国際原子力機関 (IAEA) の IGALL (International Generic Ageing Lessons Learned) から得られた知見を附属書 E (参考) の経年劣化事象一覧表に反映した。」とあり、他国の知見をタイムリーに反映していることが分かる。このように、持てる技術・知識を外に発信して (give)、更にレベルの高い知識を収集する (take)、これこそが国際協業の成果である。

また、公開されている日本原子力学会の PLM 分科会議事録 (2017 年 11 月)^[7]には、「IGALL 改訂の状況としては、2018 年末に最終版が発行される予定であり、本格改定への反映が可能である。IGALL 以外では SSG-48 が NS-G-2.12 の代わりに発行され、廃止される SRS No 57 の後継として新しいレポートが機器のスコーピング等、SSG-48 及び SRS No.82 でカバーできていない内容が盛り込まれる。IAEA には IGALL 以外にも経年劣化管理関連の指針類があるため、全体像の把握を目的に、確認することとなった。IAEA の基準では経年劣化管理に旧式化が含まれているが、PLM 基準で取り扱う必要があるか検討することとなった。」とあり、常に、IGALL の情報をキャッチアップしていることが分かる。

本 PLM 分科会には IGALL 活動に参加している原子力規制庁の担当者もオブザーバーとして参加し、IGALL 知見の反映に関する検討状況が情報共有されている。学協会の規格基準検討に規制・被規制の担当者も参加することで、同じ技術情報を世界の専門家がどのように理解しているのかも共有され、その解釈に大きな乖離がなくなる。その結果、規制に対する予見性が高まり、安定し

た運用が可能になるだけでなく、ROP 型の新検査制度がスタートするに際して、現場の検査官に混乱を与えることなく、新たな技術知見を通知することが可能になり、規制・被規制の両者にとって、学会の会合が有益に働くものと考えられる。

また、前述の SSG-48 は、昨年 11 月に発行され、陳腐化(Obsolescence)のタイプを整理している。

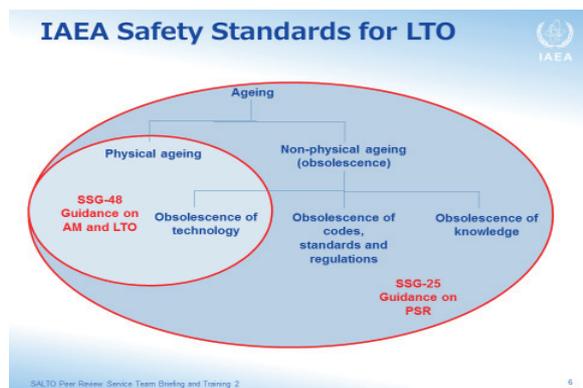


図 4. 長期運転における陳腐化の分類 例)^[3]

この陳腐化については、IGALL の AMP に含めることを日本側から提案したものである。1F 事故の遠因として、海外トラブル事象反映などの最新知見の反映不備があげられ、定期安全レビュー (PSR) の重要性が見直される環境下にあったことから、その提案を行った。しかし、国際的には、既に PSR が改善の仕組みとして定着しており、SSG-25;Periodic Safety Review for NPPs (2013)^[8]を参照しつつ SALTO ピアレビューが行われている。SSG-48 ではこの Obsolescence を 3 タイプに分け解説し、このうち、規格基準の陳腐化と知識の陳腐化は SSG-25 に委ねるとし、製造中止品などのサプライヤー問題を TOP (Technological Obsolescence programme) として取扱うとしている。米国 NRC-RIC (Regulatory Information Conference) でも数年前からこの問題に対する取組みが紹介されており、プラントメーカーが持っていたノウハウの散逸を問題視している。米国では完成図書を電気事業者は買い取ったとされるが、完成図書に含まれるノウハウを文書化したもの (設計マニュアル) までも買い取ったかは不明である。もし買い取れていたとしても、そのマニュアルの中にある各種パラメータの根拠は先行プラント(パイロットプラント)の各種試験で得られたデータであることが多くそのデータの整備も大切である。例えば、炉内構造物の流体励起振動による実機振動データなどがその一つである。スケールモデルによる試験等では得られない実機のデータは経験知として大変重要なものである。

いま一度、IGALL が安全評価書 SRS82 として世に出る際に背景としてまとめられた全文に目を向けると、

「IAEA は、1990 年に経年化管理の安全面に関するガイダンスの開発を始めた。その後、関連する数多くの報告書が作成され、一般的な方法論のガイダンスや原子炉容器・炉内構造物・主配管・蒸気発生器・コンクリート構造物などの機器・構築物に関する経年劣化評価とその管理が公表されている。当初予想されていた期間 (通常 30 ~ 40 年) を超えて原子力発電所の運転を継続したい IAEA 加盟国が着実に増加し、長期運転 (LTO) の課題に対する支援の必要性を認識し始めたことから、IAEA は 2003 年から 2006 年に軽水炉の長期運転に対する安全面に関し検討を行った。その結果を、2008 年に原子力発電所の長期安全運転に関する安全報告書 (SRS-57) としてまとめ公表した。しかし、IAEA 安全指針 NS-G-2.12 の一般要件には、安全上重要な機器・構築物の効果的な経年劣化管理プログラム (AMP) に関する方法論、重要な要素およびその実施が含まれているものの、機器・構築物の劣化メカニズムやそれを緩和する AMP に関する包括的な情報は含まれていなかった。そのため、既存のガイダンスおよび技術情報を補完するために、研究結果およびプラントの運転経験をまとめて体系的に文書化し分析するためのプロセスを確立する必要性が認識された。このプロセスが確立すれば、検討に参加する加盟国の間で、経年化管理に関する技術情報の共有が図られ、その結果、既存の保全プログラムを評価ツールとしてだけでなく、安全上重要な機器・構築物に対して、考慮すべき劣化の影響や劣化メカニズムに沿った有効な AMP を提供することになる。このプロセスそのものが IGALL なのである。」

と記述されており、時代のニーズに沿って積み重ねてきた歴史が理解できよう。また、スコープの節では、次の点が大切であると考えられる。

- ①原子力発電所の運転開始から経年劣化管理を実施し、発電所の設計、建設、試運転、運転および廃止措置の期間、効果的な経年劣化管理を促進するための適切な規定を作ることが重要である。(廃止措置を含んでいる点)
- ②機器・構築物の性能特性の低下をもたらす物理的な劣化、および技術的な陳腐化 (現在の知見による再評価で性能低下が認められること) の両方に対処することが求められる。IGALL では物理的な劣化の

管理に焦点を当てているが、安全上重要な機器の陳腐化はその耐用年数を通して積極的に管理されなければならない。個々の劣化メカニズムに対する技術的な陳腐化は、AMP において既に考慮されており、最新技術を反映している。

③「However, new insights have to be addressed in future updates of the AMPs.」とあり、改善の精神が本フレーズに現れている。

④陳腐化の概念的側面（現在の知識や規格との整合性等）は、定期安全レビューの枠組みとされ、IGALL には含めていないが、IGALL の HP には「技術的陳腐化プログラム」を掲載している。

さらに、注意する点として、IGALL は、経年劣化管理のための十分条件ではないため、個々のプラントに対するチェックリストとして利用することは薦めていない。あくまで参考とすることを薦めている。特に、AMR テーブルは、原子力学会の経年劣化まとめ表の取扱いと同様と考える。また、用語の定義もすべての加盟国が使用できるものではないと注釈がついている。

日本原子力学会の PLM 実施基準 2015 年版に、これらの考えを的確に反映してきたことが理解できる。

2.4.2 原子力規制庁の審査への反映

本格的に IGALL 活用のための活動が開始されるに当たり、旧原子力安全・保安院 (NISA) から電事連に協力依頼があった。その中で、審査の参考にしていくことが示されていたものの、現 NRA は旧 NISA が策定した高経年化技術評価書の劣化事象毎の審査ガイド等^{[9],[10]}を継承しておらず、本 IGALL を参照するとは明記されていなかった。ただ、日本原子力学会標準「原子力発電所の高経年化対策実施基準 :2008」(PLM 基準 2008 版)が、原規規発第 1709202 号「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」に引用されており、PLM 基準 2008 版の追補版は IGALL を反映していることから、間接的には一部の IGALL を参照し審査されている。しかし、CANDU 炉や WWER の知見が入った IGALL をフル活用しているとは言えない状況にある。それゆえ、IGALL のすべての内容を反映した PLM 基準 2015 年版を引用するよう NRA の高経年化対策実施ガイドを改定することが望まれる。

3. 結言

3.1 経年劣化管理の情報基盤として

IGALL は、世界のトラブル事象や最新の研究動向を

踏まえた経年劣化に関する国際標準としての地位を確立し、IAEA の SALTO ピアレビューに活用されるだけでなく、世界の原子力事業者の保全活動にも活用されている。一つの原子力発電所を 40 年以上も使用し続けるためには、自身の経験・知見のみならず他所の経験・知見を如何に吸収し、保全活動に反映させるかが、安全で安定した運転を継続する鍵となる。世界で 40 年を超すプラントが増加する中、今年中には、IGALL の活用に関する規制者向けガイダンスが作成され、次期フェーズ 5 に向かって更なる飛躍が期待される。

3.2 継続の秘訣

2015 年の SRS-82 制定までは紆余曲折があったものの、参加加盟国 24 ヶ国の規制当局と電気事業関係者(原子力発電所最大保有国の米国から NRC, PWR 最大保有国の仏国から ASN と EDF, CANDU 炉保有のカナダから CNSC、そして、日本から NRA と電力)両者が積極的に検討に加わり、貢献したことが大きい。それは、現場で起きていることを反映しつつ、現場に活用することを目的としたことである。また、現在では、IGALL の 5 つの WG の開催は、場所をウィーン本部だけでなく、ブラジル、ドイツ、スペイン、韓国、米国、仏国と広がり、その国の現場の方(規制当局の方や発電所の方)も議論に加わるなど、現場の生の声を直接、聴く場にもなっている。これはスタート直後には予想し得なかった大きな発展である。

また、米国 NRC の GALL や日本原子力学会の経年劣化まとめ表など、LTO 先進国が知見を惜しみなく提供したことで、その技術図書の知識の幅も広がっている。これは、1F 事故後の経験から、大事故を他国でも起こさせないということから、IGALL の活用で安定した自国のプラントの運転ひいては円滑な規制業務を行うことができるという意識がそれぞれに芽生えたからではないかと考える。

さらに、IAEA 内では、Nuclear Safety and Security 部門と Nuclear Energy 部門が協調して、互いに作成した技術図書の関連性を意識して、文書体系を構築したことから、LTO の後続プラントを持つ国々が参考しやすくなったことも見逃せない。

また、IAEA 事務局の R.Krivanek 氏の存在も大きかった。彼は、チェコの電力会社に勤務していたころに IGALL 準備会合に加わり、フェーズ 1 の活動期間中に IAEA に転籍し、LTO のプロジェクトマネージャーとなり、SALTO ピアレビューも手掛け、NE 部門の PLiM/LTO 技

術統括をされている Ki- Sig KANG 氏との連携を図りつつ、SALTO に関する文書体系を構築する際に、IGALL の継続的改善について明文化することを牽引した。

この IAEA の二人に継続的改善の重要性を説いたのが、IGALL に唯一、大学関係者で参加した東京大学の関村教授である。フェーズ1では、米国NRCのHiser.A.氏とともに共同議長としてIGALLをリードした。関村教授が牽引された、「高経年化対応戦略マップ」^[11]では、ローリング基本方針として、“知識の構造化から、知識の動態化へ、さらに知識の実現化”へとあり、具体的には、利用しやすい知識基盤を作って、付加的な価値を獲得し発展的に知識を獲得するための情報基盤を構築し、保全の現場で生かしていくことであるとしている。これをIGALL関連の活動に照らしてみると、なぜ、ローリング／継続できているかが分かる。

知識の構造化として、IGALL データベースを構築し、知識の動態化として、SALTO ピアレビュー等で活用し、知識の現実化として、レビューでの指摘やIGALLでの検討段階で得た良好事例を自国で展開する、現場に生かすことに繋がっている。

データベースの構築といっても先に述べたように、24ヶ国多国籍の専門家での議論の末、できたものであり、それを活用しながら改善し続けているのである。これは現場に良好事例を展開できると理解できた関係者が自身の経験や知識をデータベースにすることで他者の改善を促す。そして、別の他者がすることで新たな知見が得られる。国際協業で成功するキーワードは、“give and take”、それに尽きる。

おわりに、原子力発電所の安全性・信頼性は、40年運転を境に大きく変化するものではなく、世界のトラブル情報や各種研究成果に基づく最新知見に照らして、現状の保安活動で妥当かどうかを見極めることが大切である。それゆえ、我が国ばかりでなく、各国の保全を含む保安活動に関わる良好事例を学び、その妥当性を検証することを、これからを担う技術者は忘れないでほしい。

参考文献

- [1] IAEA, Ageing Management for Nuclear Power Plants: International Generic Ageing Lessons Learned (IGALL) , Safety Reports;Series No. 82, (2015) .
- [2] IAEA IGALL ホームページ .
<https://gnssn.iaea.org/NSNI/PoS/IGALL/SitePages/Home.aspx>
- [3] IAEA IGALL-HP ;Archive ファイル , Sizewell ファイル (Day1;06_IAEA Safety Standards_26092018) .
- [4] IAEA, Ageing Management and Development of a Programme for Long Term Operation of Nuclear Power Plants, Specific Safety Guide;No. SSG-48 (2018) .
- [5] IAEA IGALL-HP ;Archive ファイル , Sizewell ファイル (Day3 ; 01_IGALL Programme_27092018) .
- [6] NUREG/CR-7153,Vol.2 “Expanded Materials Degradation Assessment (EMDA) Volume 2: Aging of Core Internals and Piping Systems” .
- [7] 日本原子力学会 標準委員会 システム安全専門部会 PLM 分科会 (P14SC) 第 46 回議事録 .
http://www.aesj.net/sc_committee/standard/stc/p14sc
- [8] IAEA, Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-25 (2013) .
- [9] 旧 NISA 「実用発電用原子炉施設における高経年化対策標準審査要領」(H20・10・17 原院第 7 号) .
- [10] (独)原子力安全基盤機構,「高経年化技術評価審査マニュアル」JNES-RE-2013-9012.
- [11] 原子力学会 原子力安全部会・標準委員会合同セッション「原子力分野の技術マップ間の連携について」2009 年 .

(平成 31 年 2 月 5 日)

著者紹介



著者：田中 秀夫
所属：(株)原子力安全システム研究所
専門分野：プラント保全