

海外における電気品のEQ (Environmental Qualification) に関する動向

Status on Environmental Qualification of Electrical Component in Foreign Country

日本エヌ・ユー・エス株式会社 中村 理恵 Rie NAKAMURA Member

Demonstration that the electric equipment important to safety can perform the required function in harsh environment during/after design bases accident by the end of life is called “Environmental Qualification”. EQ is regulatory requirement and licensing bases in the US and many countries. In the US regulation, it is required to develop EQ program, EQ component list and to maintain EQ data and records. Also the US NRC has started the EQ program inspection as a first design bases assurance inspection from 2017. Maintenance has important contribution to maintain an effective EQ program.

Keywords: Electrical Component, Environmental Qualification, Aging Management,

1. はじめに

EQ (Environmental Qualification) とは、電気品の寿命末期に（つまり経年劣化した状態で）設計基準事故が発生し、その環境下に晒された場合でも、所定の機能要求時間、機能を維持することを保証し、そのエビデンスを作成・維持することであり、米国や海外諸国では規制要件として事業者に対応が求められている。特に米国においては、連邦規則（10CFR50.49）において、EQプログラムの策定、対象機器リストの作成、EQデータ、記録の維持が義務づけられている。また、米国では最近、EQに特化した検査が実施されるようになり、再度注目が高まってきている。本発表では、諸外国（主に米国）のEQ規制、検査動向と保全の関わりについて概説する。

2. EQに関する海外の規制の枠組み

2.1 EQに関する規定

米国の原子力規制委員会（NRC）は、原子力発電プラントで用いる電気機器のEQの問題に1977年末から取り組んできており、10CFR50.49「原子力発電プラントの安全上重要な電気機器の環境性能保証」を、1983年1月21

日付官報で告示し、2月22日付で発効した。規則発効前は、IEEE 323-1974等に基づいてEQが行われていた。

本規則の対象となるのは、苛酷環境に晒される以下の機器である。

- ・ 設計基準事故時／後の機能要求がある安全関連電気機器
- ・ 故障が上記安全関連機器の機能に影響する非安全関連機器
- ・ 事故後モニタリング機器

事業者は、これらの機器に対して、以下を作成し、最新の状態に維持し、監査可能な状態にしておくことが要求される。

- ・ EQの対象となる機器のリスト（要素は事業者によって異なるが、機器の情報、設置場所、性能保証情報、寿命、交換時期などが含まれる）
- ・ 性能保証ファイル（事故時の性能仕様、電気的特性、設置場所の環境条件を含む。EQファイル、EQパッケージなどと呼ばれる。）

性能保証プログラムには、以下の項目を含み、これらの情報に基づいていなければならない。

温度・圧力、湿度、化学的影響、放射線エージング、冠水、相乗効果、裕度

事業者は、以下のいずれかによって、EQを実施することが要求される。

- ・ 同一条件における機器の同一品目の試験。もしくは

連絡先：中村 理恵、〒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イ
E-mail : rie@janus.co.jp

は、補足解析によって対象機器が容認可能であることが証明された類似条件下における試験。

- ・ 補足解析によって対象機器が容認可能であることが証明された機器の類似項目の試験。
- ・ 補足解析によって対象機器が容認可能であることが証明された類似の環境での同一もしくは類似機器の経験。
- ・ 解析的仮定および結論を補足する部分的な型式試験データと組み合わせた解析。

10CFR50.49 の発効に伴い、事業者は、EQ 機器のリスト及び未 EQ 機器の性能保証または交換のスケジュールを 1983 年 5 月 20 日までに提出し、以下の期日のいずれか早い方までに電気機器の環境性能保証を完了することが要求された。

- ・ 1982 年 3 月 31 日以後の 2 回目の燃料交換の終了日
- ・ 1985 年 3 月 31 日

その後、米国では、30 年以上にわたって、EQ プログラムが実施されている。

米国以外でも、EQ が規制要件となっている国、産業界標準に従って実施されている国がある。

IAEA では、SSR-2/1, Rev.1「設計の安全要件」の中で、安全上重要な機器の性能保証（ここでは Equipment Qualification）を要求している。Equipment Qualification は、10CFR50.49 では除外されている耐震も含めた性能保証である。欧州で EQ という用語は、Equipment Qualification を指す場合が多い。

2.2 EQ に関するガイダンス

10CFR50.49 (EQ 規則) を遵守するためのガイダンスとして、Reg. Guide 1.89, Rev.1 を 1984 年 6 月付で発行している。この中で、米国電気電子学会規格 IEEE Std.323-1974 「クラス 1E 機器の性能保証」をエンドースしている。IEEE 323 は、現在では国際電気標準会議 (IEC) 規格とのジョイントロゴとなり、IEC/IEEE 60780-323-2016 が発行されている。

IEC/IEEE 60780-323-2016 は、EQ 全般に関するガイダンスを示したものであるが、別途機器毎の Reg. Guide が発行され、別の IEEE 規格をエンドースしている。

また、EPRI が、EQ の実施に関する詳細なガイダンスと EQ リファレンスマニュアルとして発行しており、多くの事業者が参考図書として利用している。

2.3 運転認可更新における EQ の検討

運転認可を更新（当初の 40 年の認可期間を超えて最大 20 年まで運転を継続）するための手続き（評価対象設備、評価内容、申請手続き等）は、10CFR Part 54 で規定されている。この中で、経年劣化及び安全性の決定に関する解析で、期間を限定した想定条件を含む「期間限定経年劣化解析 (TLAA)」の検討が要求されており、EQ は TLAA に該当するため、解析期間の延長、経年劣化管理プログラムにより経年劣化影響が適切に管理できることを実証する等の措置が必要となる。

運転認可更新申請者は、実際のケーブルの供用環境が EQ 試験の想定よりも過酷でなく、ケーブルも劣化していない場合、環境条件の裕度の評価からケーブルの保証寿命を 60 年に延長するための再解析を行っている。再解析の容認性については、NRC の標準審査指針 (SRP-LR) の中で、以下の通り示されている。

熱に関する経年劣化評価を実施する際に容認可能な手法として、アレニウス (Arrhenius) の手法が挙げられている。設計温度と実際の供用温度との間のクレジットを取り、再解析を行い、保証期間を延長する。温度データは、Tech. Spec. 遵守のためのモニタ、他のモニタ、運転員の巡回時の測定、温度センサー等によって得る。解析で用いる材料の活性化エネルギーを変更する際には、その正当性を示す必要がある。

放射線に関する経年劣化評価では、総線量（寿命期間中の通常の供用による線量＋事故時の線量）に関する EQ を実証する。運転認可更新に関しては、40 年の通常の放射線量を 1.5 倍して 60 年の線量を求め、事故時の線量に加える。繰り返し荷重についても、同様の手法を利用できる。データの取得方法は、熱に関する評価と同様である。

再解析を行わない場合（または保証寿命が延長できない場合）は、延長された運転期間中、EQ が経年劣化管理プログラム (AMP) によって適切に管理されることを示すことになる。その際に容認可能なプログラムは、経年劣化に関する知見をまとめた運転認可更新ガイダンスである GALL 報告書 (NUREG-1801)、X.E1 節で示されている。

また、IAEA は、国際版 GALL 報告書 (IGALL) プログラムにおいて、TLAA 201 として、EQ プログラムを示している。

3. NRC の EQ 検査

3.1 検査の規制枠組み

NRC の検査に関する規制ベースは、以下の法令で示されている。

- ・ 1954 年原子力法 161 条：検査の実施権限（と命令の発令権限）
- ・ 10CFR50.70（検査）：NRC の検査の受け入れ、検査官へのオフィス・アクセス権限提供、（検査官の要請がない限り）検査官の存在・到着の周知禁止を事業者に義務づけ

検査は、原子炉監視プロセス（ROP）の一環として行われる。基本検査プログラムは、NRC が全ての発電所に対して実施する最低限の検査プログラムであり、各発電所のパフォーマンスの状況及び問題点を把握するためのものである。基本検査は、様々な分野に対して実施されるが、EQ に関しては、各分野の検査の一環として、

- ・ EQ 品を保証寿命以前に取替
- ・ 変更による EQ への影響を評価
- ・ EQ 品が使われているか 等

について検査されている。

基本検査の一つとして、設計ベース保証検査（DBAI）が行われている（検査手順書（IP）71111.21）。2013 年に実施された ROP の独立評価で、「一般問題は、事業者がプログラムの変更と将来的な実施を誓約した時点で解決と考えられている。一般的に、最初の審査（あるいは検査）後、継続的に実施状態の検査は行われてない。」との指摘があり、プログラムの有効性を評価する検査の追加が勧告された。その対応として、プログラム検査（IP 71111.21N（パイロット用））が策定され、最初のプログラム検査として EQ 検査が選定された。EQ 検査の手順については、IP 71111.21N 添付 1 に示されている。現場（サイト）では、以下のタスクが実施される。

- ・ 推奨された EQ 予防保全の実施の検証
- ・ 40 年以上の運転プラントにおいて、60 年の運転に的確であるか、あるいは保証寿命に到達する前に取替が行われていることの確認
- ・ EQ 記録が監査可能であることの検証
- ・ EQ で用いた温度条件の妥当性の検証
- ・ 取替機器の妥当性確認
- ・ EQ マスターリスト（EQ 機器の範囲を特定し、管理要素を整理したもの）の更新の妥当性
- ・ 取替機器が EQ ファイルの仕様に適合していること

の確認

- ・ EQ プログラムから削除された機器について、削除の妥当性
- ・ EQ 機器が設置されている区域のワークダウン
- ・ EQ 品の周辺機器の破損が、EQ 品の機能に影響を及ぼさないことの確認
- ・ 据え付け状況の確認（試験条件と合致しているか）
- ・ マイルド環境と判断された区域内に高エネルギー配管破断箇所がないことの検証
- ・ EQ 取替部品の耐用年数において倉庫保管期間と環境条件を考慮していることの検証
- ・ 是正措置の妥当性の検証

3.2 パイロット検査

NRC は、2015 年末～2016 年にかけて、以下のサイトに対して、EQ プログラムのパイロット検査を実施した。

- ・ Calvert Cliffs-1/2（CE-PWR）：2015 年 12 月 14～22 日
- ・ Fitzpatrick（BWR/4）：2016 年 2 月 22～26 日
- ・ Browns Ferry-1/2/3（BWR/4）：2016 年 4 月 11～15 日
- ・ St Lucie-1/2（CE-PWR）：2016 年 4 月 25～29 日
- ・ D.C. Cook-1/2（WH-PWR）：2016 年 5 月 9～13 日
- ・ Dresden-2/3（BWR/3）：2016 年 6 月 27 日～7 月 1 日
- ・ South Texas Project-1/2（WH-PWR）：2016 年 3 月 21～25 日
- ・ Columbia（BWR/5）：2016 年 5 月 9～13 日

その結果、以下の問題（違反）が指摘された。

発電所	内容	
Browns Ferry	MSIV リミットスイッチの保守手順書に誤ったバンダーガイダンスが取り込まれており、ガスケットの交換が含まれていなかった。	緑
St. Lucie	寿命計算が不適切であった。 ・ データの検証・外挿の問題 ・ 考慮していない劣化影響 ・ 寿命延長時にサブコンポーネントの寿命を考慮せず	緑
同上	他社のデータ（活性化エネルギー）を引用する際に、同炉への適用性を検討、文書化していなかった。	緑
同上	格納容器ハイレンジ放射線モニタに関して通知された運転経験への対応を完了していなかった。	緑
D.C. Cook	保留された変更点が未処理のままとなっており、EQ ファイルが、最新の状態でなく、監査可能な状態で維持されていなかった。	緑
Dresden	較正活動は EQ 関連活動ではないと考えられており、逃し安全弁の音響モニタリング・システムの 24 ヶ月毎の較正が実施されていなかった。	緑

その他、軽微な指摘事項として、以下の点などが挙げられている。

- ・ 倉庫の保管時の温度管理がされていなかった。
- ・ EQ 試験記録が作成されていなかった。
- ・ EQ 文書の一部が判読不能であった。
- ・ EQ マスターリスト、EQ データベースが最新でなかった。
- ・ EQ 品を用いるべき箇所に、性能保証されていない絶縁材が用いられていた。
- ・ EQ ファイルに、根拠となる試験報告書が参考文献として示されていなかった。

3.3 今後の予定

NRC は、2017 年から 2019 年にかけて、米国内の全原子力発電所を対象に、EQ プログラム検査を実施する計画である。2017 年中には 16 サイトで検査を実施する予定で、スケジュールを公表している。

4. EQ と保全

EQ と言うと、EQ 機器リストと性能保証ファイルを準備することと思われがちであるが、性能保証状態を維持するためには、保全も大変重要な要素となる。

実施段階では、EQ 品の保守・取替時期を保守管理手順に反映し、確実に実施する必要がある。前述の Browns Ferry の事例では、保守管理手順への反映の段階でミスが生じていたが、更新時、実施時にも不具合が生じる可能性がある。

また、EQ 品の保守・取替時に、EQ の条件に合致した状態で保守・設置を行う必要がある。メーカーによる設置手順があればそれを遵守し、設置方向などにも留意しなくてはならない。海外においては、EQ 特有の保守作業は認定を受けた作業員しか実施できない仕組みがある場合がある。

周囲の物理的構成や環境条件の変化は、EQ の前提条件に影響を及ぼす可能性があるため、その様な変更が行われた場合は、EQ 文書への適切な反映と、場合によっては、EQ そのものの再検討が必要になる。

EQ は、EQ 管理担当部署だけで行えるものではなく、保守管理担当など幅広く EQ 管理について教育を行うことにより、EQ 管理が円滑に運用できる。保守作業員に対しては、設備に関する訓練が行われるが、EQ に影響するプラント状態（ドアの開放など）を適時に発見するには、

ウォークダウンを行うセキュリティ要員（警備員）への訓練が重要となる。

5. まとめ

EQ 管理を実施するためには、まずは EQ 要件を正しく理解し、EQ マスターリスト、EQ 機器リスト、EQ ファイルを準備する必要があるが、更に、EQ 保守手順を確立し、保守管理業務との適切な連携を取らなくてはならない。

運用段階では、EQ 管理プログラムを以下の通り維持するための活動を制度化し、継続しなくてはならない。

- ・ EQ 確立時に特定された要件と制限が、全ての EQ 対象機器において満足されている。
- ・ 性能保証に関する文書が、現行の設計基準・認可ベース・物理的なプラント状態構成と整合するように維持されている。

また、EQ 担当部門のみではなく、保全部門やその他の要員に対する訓練（実務レベル）が有効に行われる必要があり、更には発電所の管理者に対する訓練（EQ の重要性の理解）も必要である。また、国内外の運転経験を把握し、同様の EQ 事象が起こらない様に対策を取らなくてはならないが、この要素に関しては、30 年以上 EQ 管理を行っている米国においても、未だに過去と類似の事象が後を絶たないことを考えると、なかなか困難な道りであると言える。そのための情報共有のしくみも必要であろう。

EQ 管理に関連・影響する全ての要素を取り込んだプログラムを策定し、適切に PDCA を回していくことが、EQ 管理の成功の鍵となると考える。

参考文献

- [1] Title 10, Code of Federal Regulations Part 50, § 50.49 Environmental qualification of electric equipment important to safety for nuclear power plants.
- [2] Regulatory Guide 1.89, Rev.1 “Environmental Qualification of Certain Electric Equipment Important to Safety for Nuclear Power Plants”, June 1984.
- [3] IEEE Std 323-1974, "IEEE Standard for Qualifying Class IE Equipment for Nuclear Power Generating Stations," February 28, 1974.
- [4] IAEA SSR-2/1(Rev.1), “Safety of Nuclear Power Plants: Design“, 2016.

- [5] IEC/IEEE 60780-323-2016 “International Standard - Nuclear facilities - Electrical equipment important to safety - Qualification”, February 19, 2016.
- [6] EPRI 1021067, “Plant Support Engineering: Nuclear Power Plant Equipment Qualification Reference Manual, Revision 1”, September 16, 2010.
- [7] NUREG-1800, Rev.2, “Standard Review Plan for Review of License Renewal Application for Nuclear Power Plants”, December 2010
- [8] NUREG-1801, Vol.1, Rev.2, “Generic Aging Lessons Learned (GALL) Report; Summary”, December 2010.
- [9] IAEA IGALL Programme TLAA201 “Environmental Qualification of Electrical and I&C Components”, 2015.
- [10] NRC IP 2111.21N, “Design Bases Assurance Inspection (Programs)”, Effective Date: January 1, 2017
- [11] BROWNS FERRY NUCLEAR PLANT - NRC DESIGN BASES (PROGRAMS) INSPECTION REPORT 05000259/2016010, 05000260/2016010, AND 05000296/2016010, May 25, 2016
- [12] ST. LUCIE PLANT - NRC DESIGN BASES INSPECTION (PROGRAMS) REPORT, 05000335/2016010 AND 05000389/2016010, June 9, 2016.
- [13] DONALD. C. COOK NUCLEAR POWER PLANT, UNITS 1 AND 2 - NRC PILOT DESIGN BASES INSPECTION (PROGRAMS) INSPECTION REPORT 05000315/2016008; 05000316/2016008, June 7, 2016.
- [14] DRESDEN NUCLEAR POWER STATION, UNITS 2 AND 3 - NRC PILOT DESIGN BASES INSPECTION (PROGRAMS) INSPECTION REPORT 05000237/2016009; 05000249/2016009, August 4, 2016.
- [15] SUMMARY OF THE REACTOR OVERSIGHT PROCESS WORKING GROUP PUBLIC MEETING HELD ON JANUARY 12, 2017, February 6, 2017.
- [16] NUREG/CR-6384, “Literature Review of Environmental Qualification of Safety-Related Electric Cables”, April 1996.