

重点課題 - 設備運用・保全技術の高度化

軽水炉のケーブル健全性評価

背景・目的

原子力発電プラントを安全かつ安定に運転するためには、プラント内で使用されている計装・制御系ケーブルの健全性を確認することが重要である。特に、これらケーブルの絶縁材料は、熱と放射線に同時に曝されるため、その影響を正しく考慮した健全性評価手

法の確立が求められている。

本課題では、熱・放射線ストレスを受けた実機ケーブル材料等の劣化特性評価を行い、既に提案されている劣化モデルの精緻化を図り、環境条件を考慮した、より高精度な寿命評価手法を開発することを目的とする。

主な成果

1 実機経年ケーブルの劣化評価による健全性の確認

既往研究(ACA研究)^[1]では、加速劣化試験に基づく劣化予測において、一部の難燃エチレンプロピレンゴム絶縁体について想定される供用期間はこれまでと比べかなり短いと評価された。これと同種で、実プラントより撤去された経年ケーブル試料に対し、伸び率

測定等による機械特性評価と顕微FT-IRによる酸化劣化評価、酸化誘導時間(OIT)測定による酸化防止剤残量推定等を実施した。その結果、布設24年(実稼働年数16年)においても、当該ケーブル材料が健全性を保持していることを確認した(図1)。

2 実機データの統計解析による劣化予測と実態の乖離評価

既往研究と同種の難燃エチレンプロピレンゴム絶縁体について、これまでに報告されている実機破断伸び評価結果^[2]を統計解析し、加速劣化試験による劣化予測と実機経年変化の差を評価した。対象となる実機ケーブルの布設温度・線量率条件が互いに異なるため、実機絶縁体の破断伸びデータを、実プラント条件を模擬した60℃、10 mGy/h相当

の経年数へ換算し、この環境下での経年変化として統計解析を行った(図2)。得られた実機経年変化を参照曲線として、個々の破断伸びデータについて、推定供用期間を算出した結果*1、ACA研究での劣化予測手法による評価結果^[1]は、実際より相当に短く見積もられていることが示唆された[H13002]。

3 Wear-out人工追加劣化試験による実機劣化特性評価

原子力プラントより撤去された経年ケーブル試料に対し、Wear-out法*2による人工追加劣化試験を行い、その劣化様相の分析から実機劣化特性評価を行った(図3)。その結果、実機試料の追加劣化挙動は、ACA研究における未使用試料に対する加速劣化試験結果よりも緩慢であることが確認され(図

4)、実プラントでの熱や放射線によるストレスは、ACA研究における加速劣化試験の条件よりも小さかったことが示唆された。また、ロジスティック関数による回帰解析を行うことにより、劣化が緩慢であることが定量的に示された^[3]。

以上のように、今回実施したいずれの試験でも、ACA研究におけるケーブル劣化評価手法は、保守的な評価であることが示された。

*1 破断時伸びの耐性管理値を70%とし、この値に至ると推定される実稼働年数を設計想定事故環境を考慮した供用期間とした。

*2 材料寿命が疲労(ダメージ)の積算で求まるとして、経年試料にさらに人工追加劣化を行った場合、経年数と追加劣化より求まる「使いきり」時間の相関関係より、寿命推定ができるものとされるもの。

[1] 原子力安全基盤機構:JNES-SS-0903, 2009(Assessment of Cable Aging for Nuclear Power Plant, ACA研究:原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究)

[2] Y. Eguchi: 2012 Equipment Qualification Technical Meeting, San Antonio, TX, 2012

[3] 布施 他:電気学会誘電・絶縁材料/電線・ケーブル合同研究会、DEI-14-42, EWC-14-3, 2014

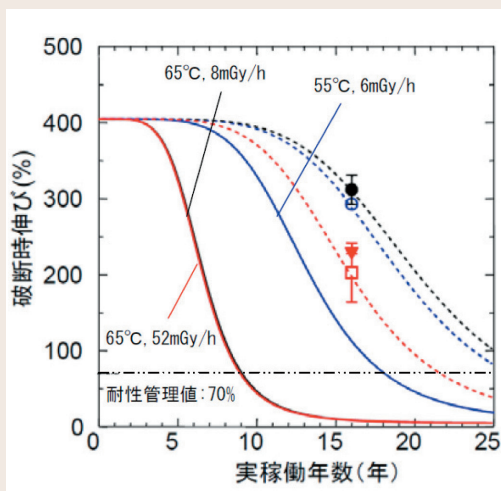


図1 実機経年ケーブルの劣化特性評価結果とACA研究予測の比較

実機経年ケーブルについて、各種機器分析により健全性を評価した。ACA研究評価結果(実線)と実機経年傾向とが異なることを確認した。波線は、実機データ(プロット)に合わせて、実線のACA予測曲線をシフトさせた。

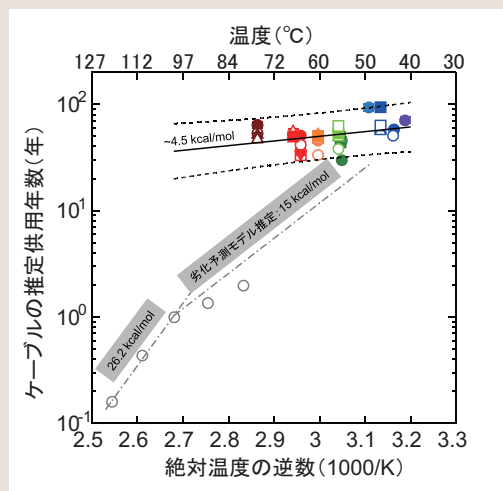


図2 実機ケーブル推定供用期間(実稼働年数)とその温度環境(アレニウスプロット)

カラーのプロットは、それぞれ異なる実機ケーブルの推定供用期間を示している。統計解析より、推定された回帰直線を黒実線で示し、黒破線は99.7% (3 σ) 予測区間を表す。

これらと比較するため、ACA研究が80~120°Cで実施した加速劣化試験結果を示す(灰色プロット)。灰色一点鎖線は、劣化予測手法による推定供用期間である。

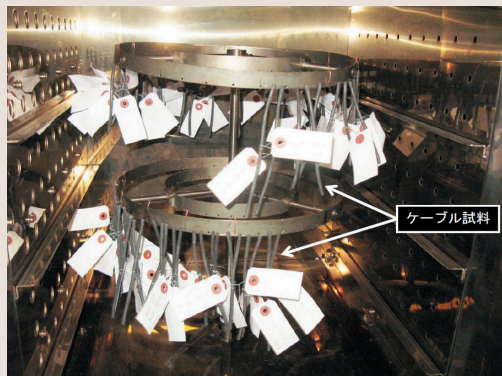


図3 Wear-out法による人工追加劣化試験の実施状況(恒温槽内の様子)

実機経年ケーブルに対し、110°C熱環境での人工追加劣化を行った。試験は、JIS規格に則り、ギア式恒温槽内で1回/時間以上の換気を行い、最大で100日間連続して実施した。各試験片とも、試験前に導体を引き抜いた状態で供試した。

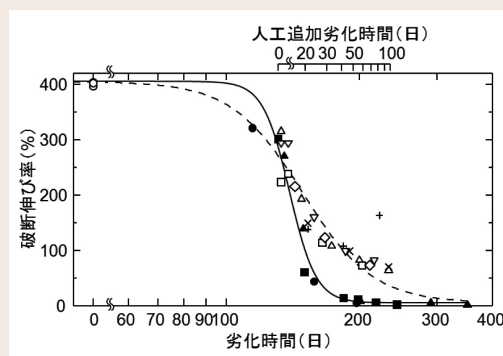


図4 Wear-out法による実機劣化特性評価結果とACA研究予測の比較

ACA研究における110°C熱環境での加速劣化試料(黒色プロット)、ならびに実機追加劣化(白抜きプロット)挙動を示す(○:未使用試料)。各プロットは、時間依存データの重ね合わせ手法により、110°C相当挙動としている。曲線は、それぞれロジスティック関数による回帰曲線である。