

### 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

軽水炉を安全・安定に運転するためには、熱と放射線に曝されることで経年劣化した材料の構造健全性を適切に評価する手法が不可欠である。計装制御電線(安全系ケーブル)の経年劣化については、従来の評価法<sup>\*1</sup>を適用した場合、軽水炉で使用されたケーブルの実態と乖離することが指摘されている<sup>[1]</sup>。

本課題では、熱と放射線の影響を受けた軽水炉のケーブル材料等の分析・評価を行うことで、従来の経年劣化評価法の精緻化を図る。さらに、種々の環境条件を考慮したケーブルの寿命評価手法を確立することで、原子力プラントの安全・安定運転に寄与する。

#### 主な成果

### 1 実機ケーブルの経年劣化傾向把握と劣化メカニズムの推定

軽水炉より撤去された実機ケーブルの劣化状態<sup>[1,2]</sup>を統計的に解析した結果、実機ケーブルの劣化状態は、従来の経年劣化評価法で予測される劣化状態よりも緩やかに進行していることが明らかとなった(図1)<sup>[2]</sup>。また、実機ケーブルに対して追加的に加速劣化試験<sup>\*2</sup>を実施し、新品ケーブルの加速劣化試験における劣化挙動と比較した。その結果、実機ケーブルの加速劣化試験におけ

る劣化過程では、酸化劣化が抑制され、運転中の低酸素環境で進行したと想定される架橋反応<sup>\*3</sup>が顕在化することにより、劣化が緩やかに進行することが明らかになった(図2)<sup>[H14002]</sup>。これらの結果から、従来の経年劣化評価法を精緻化し、ケーブルの寿命評価法を確立するためには、実機ケーブルの使用履歴(低酸素環境等)を考慮できる評価手法とする必要があることが明らかとなった。

### 2 加速劣化試験の加速倍率に関する検討

ケーブル材の劣化試験は、温度や照射量ならびに照射線量率による加速試験として実施されるため、試験条件に応じた加速倍率を高精度に評価することが重要である。これまで、数Gy/hの低線量率で照射試験が実施されてきた難燃エチレンプロピレンゴム(EPR)<sup>[1]</sup>について、1000Gy/hまでの高線量率照射による劣化試験を行った。その結

果、劣化時間の補正計算に用いる解析パラメータを最適化することで、従来の評価より高線量率の照射試験結果に対して、劣化挙動を統一的に説明できることを明らかにした(図3)。このことにより、より広範囲の環境条件下で得られた加速劣化試験の結果を経年劣化評価に活用できるようになった。

\*1 ACA(Assessment of Cable Aging for Nuclear Power Plant)研究をまとめた原子力安全基盤機構のJNES-SS-0903, 2009による経年劣化評価法。

\*2 実機ケーブルについては、放射線劣化相当量を考慮して、熱劣化試験を実施した。

\*3 高分子同士が化学反応により結合してつながること。ゴム材料では、一般的に弾力性を失い、固く脆くなる。

[1] Y. Eguchi, 2012 Equipment Qualification Technical Meeting (2012).

[2] N. Fuse et al., IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., 21(5), 2012-2019 (2014).

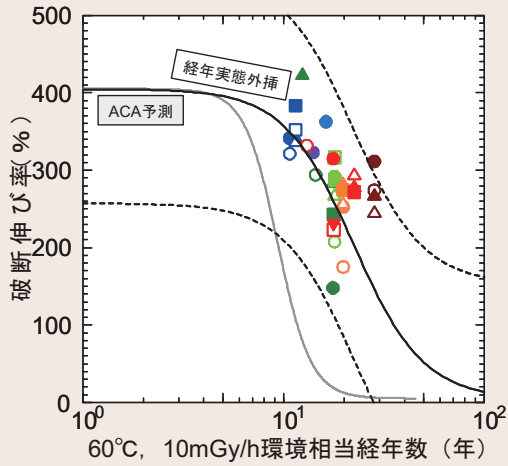


図1 平均的運転環境下での実機難燃EPR絶縁体の経年トレンド実態

プロット35点はBWR格納容器内より撤去された各実機絶縁体<sup>[1,2]</sup>に対する評価結果。黒曲線:回帰曲線。上下の黒破線:95.4%予測区間。灰色曲線(ACA予測)は国プロの研究による予測<sup>\*1</sup>。統計解析の結果、予測された劣化傾向に比べ、実態は2倍程度緩慢な速度で材料劣化が進行することがわかった。

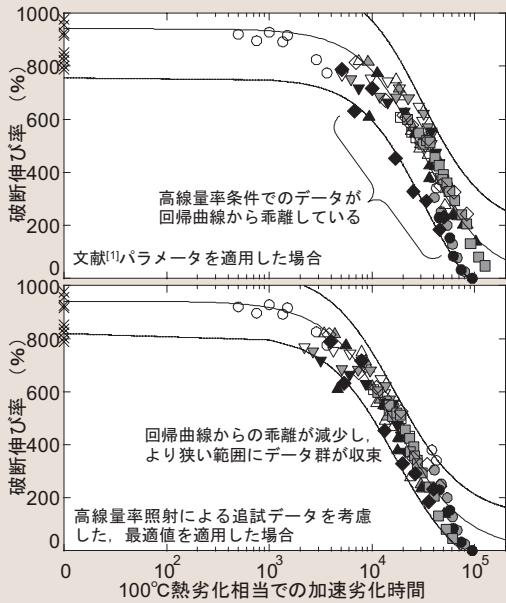


図3 難燃EPRの劣化挙動に関する、加速倍率の検討(データ乖離の解消)

上図:従来法による解析結果。下図:高線量率追試データを考慮した解析結果。×:未劣化。○、●、△、▲、▽、▼:低線量率(0~18Gy/h)での試験結果<sup>\*1</sup>。◇、◆:高線量率(650Gy/h、1000Gy/h)での追試結果(本研究で実施)。新しい回帰曲線により、高線量率データに見られた乖離を減少させることができた。

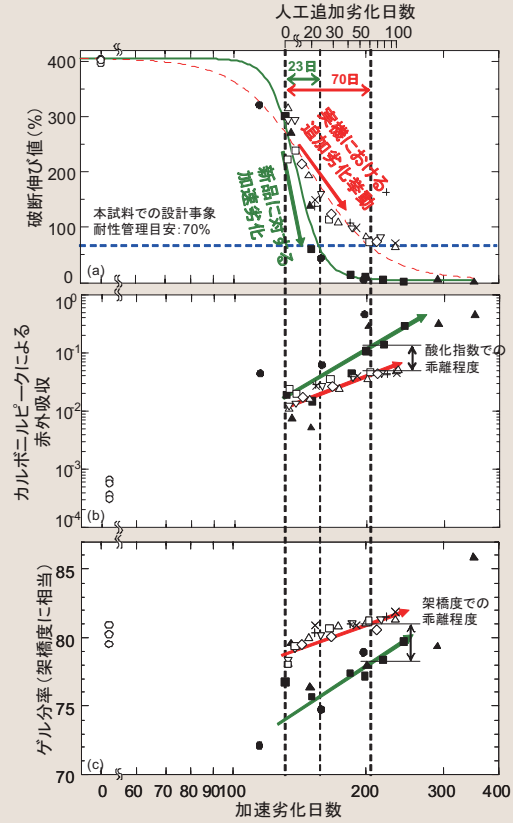


図2 新品試験体と実機ケーブルの加速劣化試験における劣化特性

ACA研究における110°C熱環境での加速劣化試験(黒色プロット)<sup>\*1</sup>、ならびに実機追加劣化(白抜きプロット)挙動を示す。○:未使用試験体。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。(a)の曲線はロジスティック関数による回帰曲線であり、実機試験体の劣化速度(耐性管理値に至るまでの期間)は予測の3倍程度緩慢であることがわかった。(b)赤外吸収強度(酸化指数に相当)、(c)ゲル分率(架橋度に相当)測定結果には、人工追加劣化70日における酸化指数および架橋度の乖離を示す。実機材料は、新品試験体に対する加速劣化結果に比べ酸化劣化が抑制されるとともに、分子鎖架橋が進んでいることが明らかになった。