

マイクロ波技術を用いた低圧ケーブルの経年劣化評価手法の研究

Ageing study of cable insulation by means of microwave absorption method

福井工業大学
大阪大学
大阪大学
福井工業大学

山本 幸
佐伯 昭紀
関 修平
砂川 武義

Miyuki YAMAMOTO
Akinori SAEKI
Shu SEKI
Takeyoshi SUNAGAWA

In 2012, there are 50 commercial nuclear power plants in Japan. There are 20 nuclear power plants which are working for 30 years or more. It is very important to measure the aged deterioration of the cable used in those nuclear power plants. Generally, degradation of a cable was measured by the tensile test. It was difficult to measure an electrical property quickly and nondestructively. We developed the nondestructive measurement technology of cable degradation which used microwave technology.

Keywords: nuclear power plants, aged deterioration, cable, microwave absorption technique, EPR

1 諸言

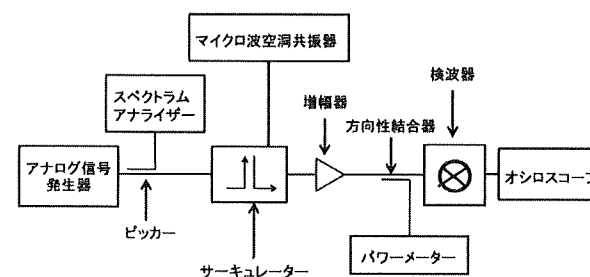
原子力プラントの高経年化技術評価の対象となる経年劣化事象は、低サイクル疲労、中性子照射脆化、照射誘起型応力腐食割れ、2 相ステンレスの熱時効、電気・計装品の絶縁低下、コンクリートの強度低下及び遮へい能力低下の 6 項目である。現在、電気・計装品の絶縁低下における低圧ケーブルの絶縁部の劣化診断は、絶縁抵抗や破壊電圧等の電気的特性が経年劣化指標として捉えがたいパラメータであるため、機械的強度特性を測定する引張試験により、実際に敷設されるケーブルと同じ材料に対して、様々な熱、放射線劣化条件における詳細な測定が実施されている¹⁾。絶縁部の熱、放射線劣化は、絶縁体の母材であるポリエチレンやエチレンプロピレンゴムのカルボン酸生成を伴う酸化反応であることが知られており²⁾、酸化反応により絶縁部の機械的強度が低下すると考えられている。

本研究は、絶縁部の酸化反応に伴う誘電率変化に着目し、高感度に誘電率変化量を測定することが可能なマイクロ波誘電吸収法³⁾をケーブル劣化診断に適用することにより、非破壊的に電気的特性の変化の測定法を確立し、従来の経年劣化測定技術を補う評価手法の開発を行うことを目的とする。

連絡先:砂川武義、〒910-8505 福井県福井市学園 3-6-1、福井工業大学工学原子力技術応用工学科、E-mail:sunagawa@fukui-ut.ac.jp

2 実験方法

Fig.1 にマイクロ波誘電吸収測定回路を示す。アナログ信号発生器よりマイクロ波 (43GHz) を発振させ、サーキュレーターによりマイクロ波空洞共振器へ導き、マイクロ波空洞共振器からの反射波をアンプにより増幅させ、検波器で電圧に変換しオシロスコープおよびパワーメーターで測定を行った。アナログ信号発生器、オシロスコープおよび



びパワーメーターの制御は GPIB で行った。

Fig.1 microwave circuit

測定に使用したマイクロ波空洞共振器は TE₁₁₁、 $Q \geq 2000$ 、共振周波数 $f_0 = 43.065$ GHz、測定穴 1.0 mm×2.5 mm である。測定試料は、デルリン(ポリオキシメチレン)製の固定台を用いて固定した。測定は 2 回実施し、1 回目測定後 180°試料を回転させ 2 回目を測定し、出力電力の平均値を求めた。

測定試料は JNES(独立行政法人原子力安全基盤機構)が作製した C 社製難燃 EP ゴム(FR-PH-2.0)

黒芯・白芯・赤芯(J-A-00-5~J-A-89)試供体¹⁾計 203 本を使用した。試供体は JNES において引張試験後の物であるため、導体は取り除かれている。

3 解析方法

等価時間は下記の (3) 式から算出した移動係数と各劣化条件の劣化時間との積で定義される。

相異なる加速劣化条件による測定結果を直接比較することはできないので合成劣化グラフ法を用いる。これはAEA Technology のRudd⁴⁾ が提唱している時間、温度及び照射線量率の重ね合わせによる移動係数式 (3) により、時間依存データの重ね合わせ法を用いて試験データの劣化時間を移動させ、合成劣化グラフを作成した。

$$A(T, D) = \exp \left\{ -\frac{E}{R} \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right] \right\} \left\{ 1 + kD^x \exp \left[\frac{Ex}{T} \cdot \frac{1}{T_{ref}} \right] \right\} \quad (3)$$

ここで、 $A(T, D)$: 移動係数、 T : 試験温度 (K)
 T_{ref} : 基準温度 (K)、 E : 活性化エネルギー (cal/mol)
 R : 気体定数 (1.99 cal/mol)、 D : 照射線量率 (Gy/sec)
 k : モデル定数、 x : モデル定数 である。

4 結果と考察

Fig.2 に赤芯、白芯の難燃 EP ゴム試供体のマイクロ波電力の逆数と破断伸び¹⁾との関係を示す。赤芯と白芯ともに相関係数は 0.72 であった。

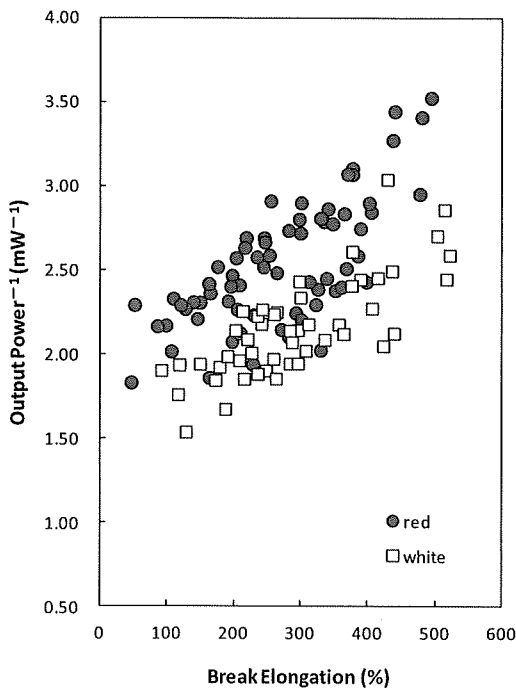


Fig.2 the output power⁻¹ and break elongation for thermally and radiation aged EPR.

黒芯の相関係数は 0.66 であった。この結果から赤芯、白芯、黒芯に関して、機械的特性と電気的特性との間に非常に高い相関性が見られた。

Fig.3 に難燃 EP ゴム試供体 (赤芯) の出力電圧の逆数と等価時間の関係を示す。さらに、JNES が作成した経年劣化マスターカーブを、本データに規格化し、重ね合わせた結果を示す。

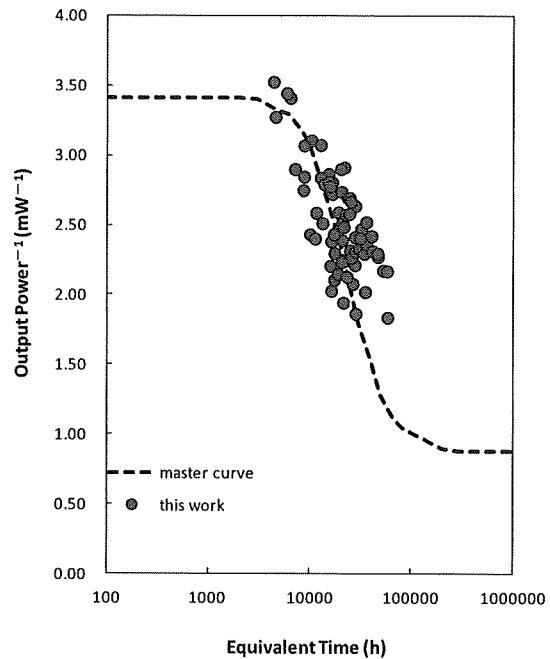


Fig.3 the output voltage⁻¹ and equivalent time for thermally and radiation aged EPR (red)

本結果と経年劣化マスターカーブとの間には非常に良い一致が見られる。以上の結果より、本測定手法は、従来の経年劣化測定技術を補う手法に成り得ると考える。本研究の詳細は他の劣化サンプルの結果と共に講演時に報告する。

参考文献

- 1) JNES “原子カプラントのケーブル経年変化評価技術調査研究に関する最終報告書” JNES-SS-0903 (2009).
- 2) T.Seguchi, K.Tamura, T.Ohshima, A.Shimada, H.Kudoh, Radiation Physics and Chemistry **80**, 268-273 (2011).
- 3) H.Shimamori, in J. F. Rabek, ed. Photochemistry and Photophysics. CRC Press, Boca Raton, p.43 (1992)
- 4) Rudd, H. J. : "Time Temperature dose rate superposition behavior in irradiated polymers", AERE-R13746 (1990).

(2012年6月21日)