[621.315.221.812:678.743.22]:620.169.2 U.D.C.

日

)].

城

大

神

柳

原子力発電設備のケーブル非破壊劣化診断技術 Non-destructive Diagnosis Method of Cable Deterioration for Nuclear Power Plant

原子力発電所用低圧CVケーブル(架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブ ル)の劣化診断手法の検討を行った。ケーブルシース材料に着目し、ビニルにつ いて放射線と熱による同時加速劣化を行い、加速劣化曲線を得た。この加速劣 化曲線より,線量率および温度について加速係数を求め,材料に固有の合成劣 化曲線を得た。

さらに,非破壊劣化診断技術について種々検討したなかで、シース材料を微 量採取し,熱重量分析を行うことにより,非破壊的にケーブルの劣化度を診断 できることが見いだされた。合成劣化曲線から求めた伸びの劣化度を、熱重量 分析法による伸びの劣化度で補正することにより,劣化診断および残存寿命予 測の精度を上げることができる。

馬 康 雄*	Yasuo Kusama
上和市郎**	Waichirô Kawakami
市久徳***	Hisanori Jôichi
西隆雄****	Takao Ônishi
村 誠 二****	Seiji Kamimura
生 秀 樹*****	Hideki Yagyû

言

わが国初の原子力発電所が稼動して以来、すでに20年が経 過した。原子力発電所の長期安定運転のためには,設備に多 量に布設されているケーブルの劣化度,残存寿命を正確かつ 容易に診断できる技術が必要とされている。

原子力発電所用ケーブルには多くの種類があるが、大別す ると高圧用と低圧用になる。高圧用ケーブルについては, 直 流漏れ電流法など電気的な診断技術が確立されている。従来, 低圧用ケーブルについては, 目視点検や撤去品の破壊試験に よる電気特性・機械特性の低下を測定し診断を行っていた。 しかし, 目視点検は定量化が難しく, また破壊試験による診 断は供試試料が採取できない場合があり, 適切な非破壊劣化 診断法が求められていた。

本稿では,原子力発電所で使用されているケーブルの大半 を占める低圧CVケーブル(架橋ポリエチレン絶縁ビニルシー スケーブル)を対象とした新しい非破壊劣化診断方法,および 残存寿命予測方法の概要とその適用例について述べる。

劣化診断の考え方 2

2.1 劣化判定基準

ケーブルの劣化診断にあたっては、劣化判定基準をどのよ うに定義するかが重要となる。

低圧CVケーブルに関する劣化判定基準を図1に示す。





注:略語説明 CVケーブル(架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル)

低圧CVケーブルの劣化は、電気特性よりも機 劣化判定基準 |义|| 械特性が先行し,絶縁体よりもシースのほうが速いので,シースの伸び を劣化判定基準に採用する。

機械特性および電気特性が低下する。低圧CVケーブルは、電 気特性の低下よりも,機械特性の一部である伸びの低下が先 行する。架橋ポリエチレン絶縁体よりもビニルシースのほう が耐熱性,耐放射線性が劣るため、伸びの低下はビニルシー

89

スが速い。したがって、ここで対象としている低圧CVケーブ ケーブルは、放射線と熱によって主に酸化劣化が進行し、

** 日本原子力研究所 高崎研究所開発部 工学博士 *** 日立製作所 日立工場 * 日本原子力研究所 高崎研究所開発部 **** 日立電線株式会社 日高工場 ***** 日立電線株式会社 電線研究所

796 日立評論 VOL. 72 No. 8 (1990-8)

図2 劣化診断の基本方針 ケーブルシース材料の加速劣化曲線を 求め,実環境をモニタし,劣化診断を行うとともに実使用ケーブルの非 破壊劣化診断技術を加え,精度を高める。

ルの劣化判定基準は、ビニルシースの伸び50%とする。これ は劣化後のケーブルを自己径に曲げたとき、割れの発生する 値に相当するものである。

2.2 劣化診断の基本方針

劣化診断を行うにあたっての基本方針を図2に示す。

ケーブルに与える影響が特に大きいと考えられる放射線, 熱に着目して加速劣化し,伸びの劣化曲線を求める。次に, 実環境の放射線,熱(温度)に対応した伸びの劣化曲線からシ ースの伸びの劣化度を求め,残存寿命の予測を行う。



さらに,劣化診断,残存寿命予測の精度を上げるためには, ケーブルの劣化度を直接的,かつ非破壊で診断できる技術の 確立が必要である。以下,伸びと良い対応性を持つ非破壊劣 化指標を検討する。

3 加速劣化曲線

90

はじめに、低圧CVケーブルのシース材であるビニルの加速 劣化曲線について検討する。

一般に原子力発電所の通常運転時の平均温度は30~60℃, 線量率は1Gy/h以下であり、この環境下での布設ケーブルは 熱劣化を含む低線量率・長時間照射により、ゆっくりと劣化 する。そこで、温度を室温、70℃、100℃、120℃、線量率 を1.09 kGy/h、0.21 kGy/h、0.03 kGy/hと変え、ビニルシー スを加速劣化し、伸びの劣化度を検討する。

上記条件によって得た加速劣化曲線を図3に示す。

図3(a)から、伸びの低下は線量率および温度によって異なり、線量率、温度が低いほどゆっくりと劣化することがわかる。これらの加速劣化曲線の形状は、線量率と温度が異なってもよく似ていることがわかる。

劣化の最もゆっくりと進行する低線量率(0.03 kGy/h),室

	温	度		線量率
室温	70°℃	100°C	120°C	(kGy/h)
0	0	O	•	1.09
Δ	Δ	•	•	0.21
				0.03

図3 ビニルの加速劣化曲線と合成劣化曲線 ビニルについて,線 量率と温度を変え加速劣化曲線を求め,加速係数によって平行移動して 合成劣化曲線を得る。

的に線量率および温度によって影響を受けないことを意味す

温の曲線を基準とし、おのおのの曲線を加速係数(伸びが50% に低下する時間比)だけ長時間軸側へ平行移動し重ね合わせる と、図3(b)に示す1本の曲線となる。この曲線を合成劣化曲 線と呼ぶ。 合成劣化曲線が得られることは、劣化の機構が反応速度論

る。したがって,実環境の1Gy/h以下の低線量率,平均 30~60℃の比較的低温での劣化機構も同じとし,合成劣化曲 線を時間軸に対して移動することにより,実環境下での劣化 度を推定する。

4 非破壊診断技術の検討

伸びに対応する指標を種々検討した結果,物理化学変化を 高感度分析機器を利用し,検知することが有力と考えた¹⁾。

4.1 ビニルの劣化形態と微量分析技術

ビニルの放射線および熱による厳密な劣化機構は明らかで はない。しかし、主な劣化形態としては、ポリマの崩壊によ る分子量低下、可塑剤の酸化および揮散があげられる。ポリ マの分子量低下の微量分析方法として、TGA法(熱重量分析 法)が適切かつ有望と考えたので、TGA法について検討した結 果を次節に述べる。

4.2 TGA法の検討

TGA法は試料採取量が5mg以下と微量で済むため、ケーブ ル回路の機能を停止・破壊することなく診断することができ る。ポリマの分子量低下の劣化形態は、TGA法によって得ら れる熱分解速度に敏感に反映されると判断した²⁾。そこで放射 線・熱の同時劣化した試料について、TGA法による測定を行 った。この結果の一例を図4に示す。

未劣化試料と劣化試料のTGA曲線を比較してみると,



図5 ビニルの積算線量によるT_{5%}の劣化 ビニルのT_{5%}は、積算線量に逆比例した直線となることを示す。

	 線量率(kGy/h)	温度(℃)
	O:1.09	室温
	•:1.09	70
⁴⁰⁰ Г	△:0.21	室温

200~300 ℃にかけて顕著な違いがみられ,劣化によって重量 減少の開始温度が低温側に移動する。この領域は,ポリマの 脱塩化水素反応と可塑材の揮散現象が混在したところである が,種々解析の結果,ポリマの脱塩化水素反応が主因と考え た。この熱分解速度を重量が5%減少する温度(以下,T5%と 称する。)で表し,劣化による変化を評価した。結果を図5に 示す。ビニルのT5%は積算線量の増大によって低下する。多少 のばらつきはあるものの,積算線量とT5%の間にはある一定の 傾向が観察され,T5%は線量率,温度に影響を受けず積算線量



図 6 ビニルのT_{5%}と伸びの相関 ビニルのT_{5%}は,伸びと比例する ことを示す。



の増大によって低下することがわかる。

4.3 T_{5%}と伸びの相関性

ビニルのごく微量なサンプルのTGA法によって求めたT_{5%} と伸びとの相関性を図6に示す。T_{5%}と伸びの間には良い相関 性があることがわかり、この手法による劣化診断の可能性が 見いだされた。

4.4 実布設ケーブルへの適用

約18年間稼動した日立電線株式会社製の実布設低圧CVケー ブルに対し、この手法の適用を検討した。結果を図7に示す。

ごく微量採取したビニルシースのT_{5%}を求め,あらかじめ得た図6に示す相関図を用い伸びを推定した。この推定した伸びと破壊試験によって実際に求めた伸びとを比較した結果を図7に示す。両者の値は比較的良い一致を示し,この手法の有効性が認められた。

91

798 日立評論 VOL. 72 No. 8 (1990-8)



図7 TGA法から推定した伸びと破壊試験によって求めた伸びの関係 実使用したケーブルに対し, TGA法と実破壊試験を実施し, 求めた 伸びが比較的よく一致することを示す。



5 残存寿命の予測法

実環境の線量率,温度に対応した合成劣化曲線を作成する。 この曲線から伸び50%に低下する時間,すなわち寿命がわか り,ケーブルの稼動年数との差によって残存寿命が推定され る。想定環境を線量率0.2 Gy/h,温度60℃としたときの合成 劣化曲線を図8に示す。寿命は65年と推定される。ここで、 稼動年数を20年とすれば、劣化度は伸び290%、および残存寿 命は45年と推定できる。

最終的には、TGA法によって求めた伸びの値と合成劣化曲線から求めた伸びの値を比較し、この両者がほぼ同程度であれば、推定した残存寿命の精度が高まる。もし両者に差があれば、伸びの値の小さいほうを優先する。

低圧CVケーブルの非破壊劣化診断技術について検討した結果,以下の結論を得た。

(1) シースであるビニルの劣化形態は、放射線の線量率、温度に影響を受けないことがわかった。

(2) ビニルシースをごく微量採取し、TGA法によって測定することにより、ビニルシースの伸びを非破壊的に推定できる。
(3) 以上の手法により、劣化診断および残存寿命予測が可能となる。今後は、データの蓄積によって精度の向上を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 早川:高分子材料の寿命とその予測,アイピーシー(平1)
 2) M D えくつい(秘密 はとま記): 京のス(4)(中二)
- M.B. ネイマン(稲葉, ほか共訳):高分子劣化, 産業図書 (昭41)

