

電気ケーブルの劣化により事故時に制御不能に陥る危険

2021年6月18日 美浜の会

電気ケーブルは、人体の血管と神経に例えられるように、原発の状態把握及び運転制御にとって不可欠な役割を果たしている。ところが、通常運転中の熱と放射線による絶縁低下は運転中には把握できず、事故時の過酷な条件で急激に進展・顕在化する。そうなれば、事故時に原発実態の把握ができず、弁を動かしてコントロールすることもできないという恐ろしい事態に陥ることになる。

その電気ケーブルの「絶縁性能」の様子は、関電が右図の太い実線で描いている。事故の発生により、事故時の熱と放射線によって「絶縁性能」の「低下は急速に進展」するが、「事故時の健全性を事前の点検で担保するのは困難」と認めている。

老朽美浜3号での問題は、各電気ケーブルを何年間使用できるかにある。右図では「絶縁性能」の「許容値や管理値」が書かれているが、それはどのように定められおり、どのように判定されるのだろうか。

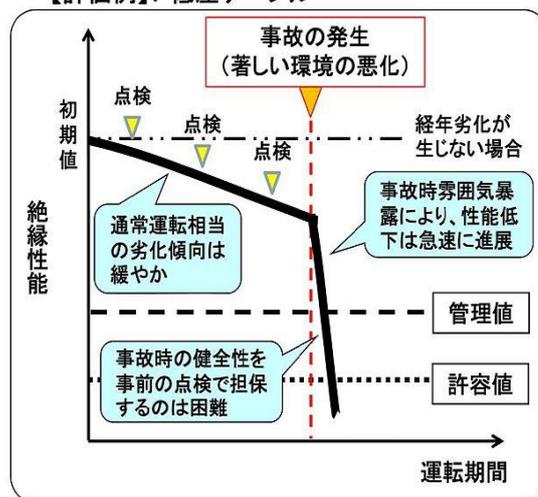
- ① 「絶縁性能」とは、本来は電気抵抗のような電気的性質のものであるが、その予測は困難であるため、実際には、絶縁体（ケーブル内の銅線を除いた周りのゴム製の部分）を引っ張って、破断するまでの伸び（破断時の伸び）がどれだけ低下するかという機械的劣化指標で置き換えられ、判断に使用されている（伸び率が小さい程、劣化しているという意味）。
- ② その破断するまでの伸びと使用年数との関係が試験で調べられ、JNES-SS レポートとしてまとめられている（下記資料B）。
- ③ その「破断時の伸び」に関する判定基準（許容値や管理値）は具体的に定められているかと言えば、そのようなものは存在しないと規制庁は認めた。担当者は「電気・計装設備に有意な絶縁低下が生じないこと」という「運転期間延長審査基準」の抽象的文章を繰り返し読み上げるばかりであった（2016年5月30日 福島みずほ議員レク）。

そのようにして審査をパスした電気ケーブルとして、美浜3号格納容器内のループ室（原子炉-蒸気発生器の1次系ループが存在する場所）には、難燃EP(エチレン・プロピレン)ゴム絶縁体をもつ電気ケーブルが使われている。関電は75年間使用可能と評価し、それで審査をパスして再稼働されようとしている。ところがそのケーブルは、事故を模擬した日本のJIS試験(1500V,1分)に合格したものの、事故を模擬した蒸気に晒された後には電気抵抗が約2万5千分の1に低下し、電流漏れが生じている。さらに、米国の電気・電子学会IEEEの試験(2600V,5分)では不合格になっている。そればかりか、JNESが非公式に提案した管理値では60年間は運転できない。このような不良ケーブルが60年間使用可能と判断されて、美浜3号の運転が許可され再稼働されようとしているのだ。

以下の記述は、下記資料に基づいている。

- ・資料A：関西電力、2015年11月16日付美浜3号機・延長補正申請書の補正(2)
- ・資料B：原子力安全基盤機構(JNES) 2009年7月 JNES-SS レポート(JNES-SS-0903)

【評価例】： 低圧ケーブル



絶縁低下のイメージ図

(2015.12.10 関電報告書 p.22 より)

■ 美浜3号で問題となるループ室の難燃 PH ケーブル

原発中心部のループ室にある難燃 PH ケーブル(右図)に目を向けよう。関電は実布設環境条件を温度 31°C、線量率 0.3882Gy/h とし、「時間依存データの重ね合わせ手法」によって、「評価期間」(使用可能期間)を 75 年と評価し、ゆえに 60 年間は運転できるとしている。

この実機条件における劣化の進展を、加速試験によって再現する場合の試験条件が同じ資料 A の右図に記されている。難燃 PH ケーブルでは 100°C-94.8Gy/h-4003 h となっている。

では次に、そのような試験に供された実際の電気ケーブルはどのようなものかを JNES

の資料 B の右表で見よう。前記の加速試験条件に合致する劣化条件となっているのは、C 社難燃 EP(エチレン・プロピレン)

ゴム絶縁ケーブル[FR-PH-2.0]の供試体番号 J-B-96 であることが分かる。この条件で破断時の伸びがケーブルの 3 本の芯線の色によって 3 つ書かれているが(上表の注記参照)、他の表等と比べて判断すると黒色が 184%、白色が 143%、赤色が 130%となっている。ここで破断時の伸びが 184%とは絶縁体を引っ張って伸ばして破断したときの伸び分(実長さ-元長さ)の元長さに対する比が 1.84 ということである。

これで問題にする対象が明確になったので、それらが LOCA 試験(1次冷却材喪失事故を模擬した試験)でどうなったか、実際に 75 年の使用に耐えられるのか等を見ていこう。

■ LOCA(1次冷却材喪失事故)条件に耐えられるのか？

JNES は試供ケーブル J-B-96 ケーブルを用いて LOCA に耐えられるかの試験を行っている(J-B-96 は、LOCA に至るまでの通常運転中に伸びがそれぞれ 184%、143%、130%となるまで劣化した黒、白、赤芯)。その結果、J-B-96 は日本の JIS 試験(1500V,1 分)には合格したが、米国の IEEE 試験(2600V,5 分)には耐えられなかった。最初に LOCA 条件を模擬した放射線に晒し、次に高温蒸気に晒した後、特性試験として絶縁抵抗

資料 A

表 2.3-17 実布設環境での長期健全性評価結果

布設区分	実布設環境条件		使用ケーブル	評価期間 [年]*1
	温度 [°C]	放射線量率 [Gy/h]		
ループ室	32	0.3462	難燃 K K	130*2
	31	0.3882	難燃 P H	75*3

*1: 時間稼働率 100% での評価期間

*2: 等価損傷線量データの重ね合わせ手法により評価

*3: 時間依存データの重ね合わせ手法により評価

表 2.3-15 難燃 K K ケーブルおよび難燃 P H ケーブルの A C A 試験条件

資料 A		試験条件
通常 運 転 相 当	温 度 放 射 線	100°C-99.9Gy/h-5549h *1
		100°C-94.8Gy/h-4003h *2

*1: 難燃 K K ケーブルの試験条件

*2: 難燃 P H ケーブルの試験条件

資料 B 表 2.4.2-1(2/2) LOCA 試験供試ケーブルの通常運転時相当の事前劣化条件(その 2)

供試ケーブル種類	供試体番号	短尺	長尺	劣化条件				事前劣化条件の破断時の伸び	LOCA 試験番号
				温度	平均線量率	加熱時間	照射時間		
C 社難燃 EP ゴム絶縁ケーブル [FR-PH-2.0]	J-B-94	○	100°C	94.8Gy/h	3,599Hr	3,581Hr	213%,176,154%	第 7 回	
	J-B-95	○	100°C	94.7Gy/h	3,810Hr	3,791Hr	198%,159%,141%		
	J-B-96	○	100°C	94.8Gy/h	4,025Hr	4,003Hr	184%,143%,130%		
	J-B-91	○	100°C	98.1Gy/h	4,312Hr	4,277Hr	168%,126%,117%	第 5 回	
	J-B-92	○	100°C	98.2Gy/h	5,272Hr	5,224Hr	124%,82%,84%		

注記: 「事前劣化条件の破断時の伸び」は当該ケーブルの同時劣化近似式から算出した。またこの欄で数値が 3 つあるものは芯線色によって破断時の伸びが異なる場合を示す。

表 2.4.2-33 C 社難燃 EP ゴム絶縁ケーブル (FR-PH-2.0) の特性試験結果

供試ケーブル番号		絶縁抵抗 MΩ [()内は MΩkm 換算値]		蒸気暴露試験中の最大漏れ電流
		LOCA 試験前	LOCA 試験後	
J-B-96	黒芯	1.6×10 ¹² (4.8×10 ³)	6.5×10 ⁷ (2.0×10 ⁻¹)	0.8mA
	白芯	1.6×10 ¹² (4.8×10 ³)	1.0×10 ⁸ (3.0×10 ⁻¹)	0.6mA
	赤芯	1.3×10 ¹² (3.9×10 ³)	1.7×10 ⁷ (5.1×10 ⁻²)	1.0mA

の測定を行っている。その結果、J-B-96 では前表のように、試験前の抵抗値が黒・白・赤の平均で $1.5 \times 10^{12} \text{M}\Omega$ だったのが、試験後には $6.1 \times 10^7 \text{M}\Omega$ へと約 2 万 5 千分の 1 に低下、すなわち著しく絶縁低下しており、約 1mA の漏れ電流が生じている。同じ C 社製でもシリコンゴム製の場合は、同じ蒸気暴露試験でも絶縁低下は見られないし、漏れ電流は 0.03~0.08mA 程度であった。EP ゴム製電気ケーブルは事故の途中で絶縁低下が起こる恐れがある。また、J-B-96 よりもう少し劣化が進んだ J-B-91 と 92 の場合（前頁の表 2.4.2-1(2/2)参照）は、JIS 試験やその前段ですでに不合格になっているのである。かろうじて合格になった J-B-96 によって 75 年は運転できると判断されたのであるが、本当にそれは妥当なのだろうかを次に見ていこう。

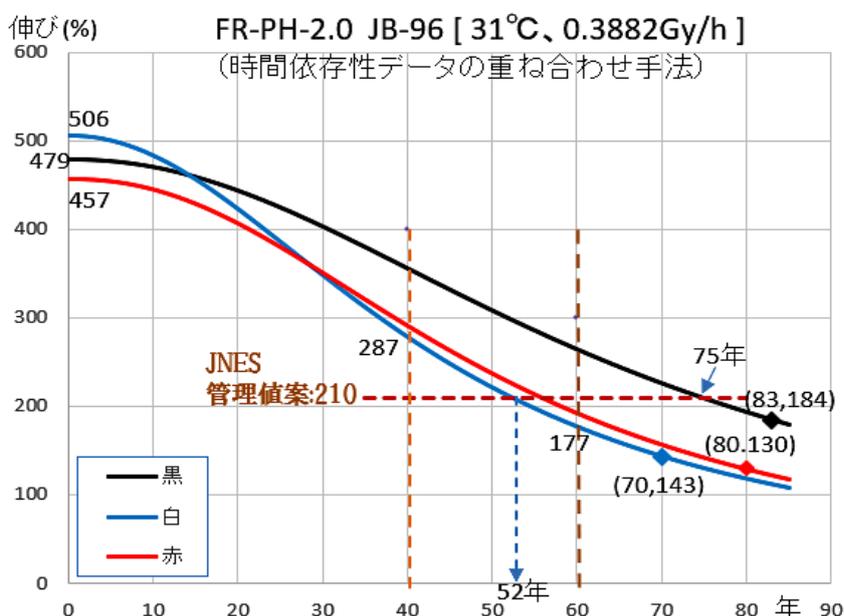
■ 美浜3号ループ室の難燃 EP ゴムケーブルは 60 年間の運転に耐えられるのか

問題は、美浜 3 号ループ室の実機条件(31°C-0.3882Gy/h)の下で劣化がどのように進むかであるが、それは JNES 資料 B で説明されている「時間依存データの重ね合わせ手法」によって計算することができ、その結果は下図のようになる。白芯（グラフの青線）で伸び率が 143%になるのは 75 年ではなく 70 年となっている。

このような結果に基づいて JNES は管理値を 210%にすることを提案している（資料 B, p.256, 表 5-3）。その値を右グラフでは横向きの点線で示しているが、白芯ではその管理値案に到達するのは 52 年後であり、60 年間運転することはできないことになる。

ところが関電はそのような管理値は採用せず、かろうじて JIS 試験で合格になったうちで最悪の劣化状態になった J-B-96 の

場合そのままに基づいて 75 年を打ち出している。安全余裕はまったくとられていない。その評価結果を規制委員会もそのまま認めて運転を許可したのである。



■ 結論:美浜3号の再稼働は許されない、廃炉にせよ

老朽化した美浜 3 号で使用されている電気ケーブルは事故時に急速に絶縁性能が低下し、電流漏れを起こして事故状態の把握や制御ができなくなる恐れが高い。絶縁性能に関する具体的な判断基準がないまま、安全余裕もとられていない。このようなケーブルを使った運転は許されない。直ちに廃炉にすべきである。

◇ 計算方法の妥当性の確認

ここでは念のため、上記で適用した「時間依存データの重ね合わせ手法」が妥当であることを確かめる。JNES 資料 B の p.239 表 3.3-2(1/2)にある FR-PH-2.0 白芯の実機条件の場合の伸び率を計算し、表内に書かれている伸び率の数値と比較すると結果は次のようになる。

- ・ 想定実機条件が (50°C, 0.1Gy/h, 50 年) で伸び率 158%の場合、伸び率計算値は 157.9%
- ・ 想定実機条件が (60°C, 0.34Gy/h, 20 年) で伸び率 169%の場合、伸び率計算値は 169.29%

この結果、我々の用いた計算方法は妥当だと考えられる。