

高浜原発1号の電気ケーブルの経年劣化

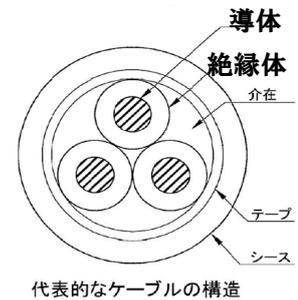
事故時の蒸気による絶縁抵抗の急低下を重視せよ

関電・規制委の評価では106年使用可能/ 実際は47年程度

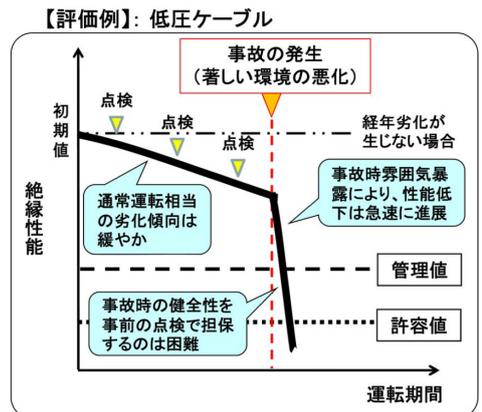
老朽高浜1号炉は、2016年6月20日に運転期間延長が認可され、来年6月に認可後初の稼働が予定されている。その格納容器内には難燃 KK ゴム絶縁体をもつ電気ケーブルがあり、106年使用可能と判断されている。しかし、その判断には問題があり、実際には47年程度しか使用できないのではないかと懸念されている。その場合営業運転開始が1974年なので2021年までしか使用できず、すでに期限は切れている。以下、この問題に焦点をあてよう。

1. 電気ケーブルが抱える老劣化問題

電気ケーブルは、電流を導く導体の周りが絶縁体で囲まれている。絶縁性は通常運転中の熱や放射線等の影響で徐々に低下するが、その実態を事前の点検で的確に把握することは困難である。さらに事故が起これば、事故時の蒸気暴露と高放射線によって絶縁性が一挙に低下し、原子炉の状態把握や制御が困難になるという大問題が発生する。



問題のこのような性格は、関電の右図で示され、縦軸に「絶縁性能」がとられている。運転期間延長審査基準では、設計基準事故及び重大事故の環境下で「電気・計装設備に有意な絶縁低下が生じないこと」が判断基準になっているからであろう。また右図には、「許容値」ばかりか安全余裕を考慮した「管理値」も記述されている。

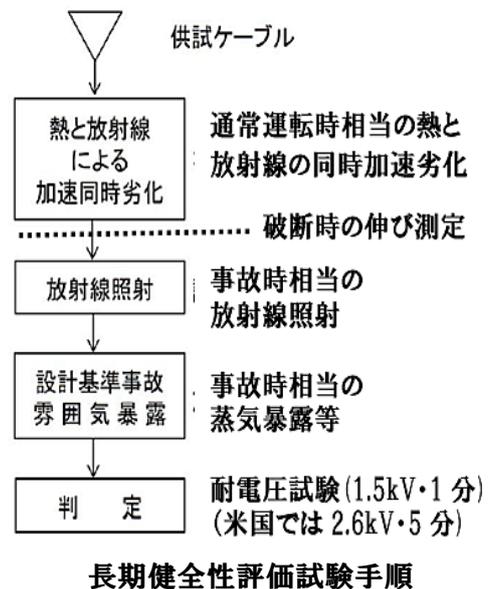


絶縁低下のイメージ図

2015.12.10.関電報告書・低圧ケーブル p.22

ところが、運転期間延長審査における実際の判断は「絶縁性能」ではなく、「破断時の伸び」によってなされている。すなわち、絶縁体を引っ張って破断したときの伸びであり、劣化すると伸びは小さくなることから劣化の指標としている。平成13年度検討会総合資料によれば、「絶縁抵抗及び破壊電圧は経年変化パラメータとして捕らえ難く、このためケーブルの経年変化指標としては、一般的に『破断時の伸び』が使用されている。経年変化指標は、『破断時の伸び』とすることが妥当である」との判断がなされている。このように、電気ケーブルの絶縁体の劣化には事実上2つの指標、「絶縁性能(審査基準)」と「破断時の伸び」が存在する。

電気ケーブルが何年使用可能か、事故を経ても健全性が保たれるかとの評価は右図の試験手順で行われている。「評価期間」の評価では、「破断時の伸び」が用いられているが、それは右図より通常運転による劣化の度合いを表すものであって、事故時の影響は入っていない。他方、



事故時の特に蒸気暴露による影響は「絶縁抵抗値」を用いて調べられている。こうして、通常運転時と事故時の劣化を模擬する試験を経た後、1500V の電圧を1分かける耐電圧試験が行われ (JIS 規格)、それに合格したもの (「良」) のうちもっとも劣化した場合を選び、それに対応する期間を「評価期間」、すなわち運転可能期間としている。結局、最も劣化するまで運転を許すという考えであり、安全余裕を考慮した「管理値」はまったく考慮されていない。また、最後の耐電圧試験は米国の IEEE 試験では 2600V・5 分なのに、1500V・1 分と緩い基準に値切られている。

「破断時の伸び」は通常運転中の劣化の影響を受けた数値である。ところが、問題はその後の事故時の蒸気暴露にあり、ここで一挙に絶縁性が低下するが、その影響は「破断時の伸び」にはまったく反映されていないことに注意しよう。

2. 高浜 1 号炉の難燃 KK ケーブルは、どのようにして 106 年運転可能なのか

高浜 1 号炉の運転期間延長申請書・補正申請書の低圧ケーブル p.28 には次の表が掲載されている。ループ室 (1 次冷却材ループのある格納容器内) にある難燃 KK ケーブルは、通常運転中の「実布設環境条件」温度 42°C-放射線量率 0.3747Gy/h のもとでは、「評価期間」は 106 年と評価されている。106 年はどのようにして導かれたのだろうか。

数値 106 の注釈 * 2 を見ると、「等価損傷線量データの重ね合わせ手法により評価」したことがわかる。この評価手法は、JNES (原子力安全基盤機構：2014.3.1

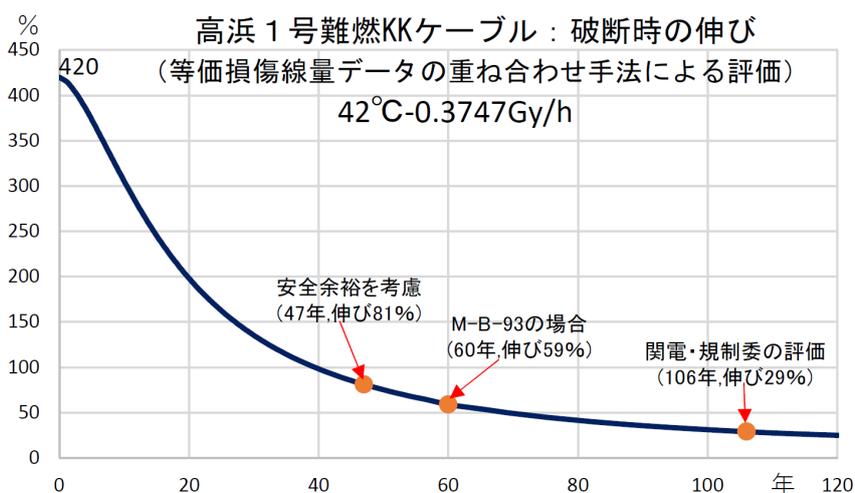
表 2.3-20 実布設環境での長期健全性評価結果

布設区分	実布設環境条件		使用ケーブル	評価期間 [年]*1	ケーブル更新時期*5、6	更新を踏まえた評価期間 [年]
	温度 [°C]	放射線量率 [Gy/h]				
ループ室	42	0.3747	難燃 KK	106 *2	—	—
	50	0.0130	難燃 PH	28 *3、4	第 27 回定期検査時 (2010 年度～)	約 65

に規制庁と統合) の最終報告書・SS レポート (2009.7) で説明されており、いろいろな劣化条件の下で「破断時の伸び」が年とともにどのように推移するかを計算する手法である。

- *1: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
- *4:ケーブルトレイの温度上昇値 (14°C) を考慮して評価している。
- *5:評価期間が 60 年を下回る場合に更新時期を記載

上記条件 42°C-0.3747Gy/h の場合にその手法を適用すると右のグラフが得られる。この結果、評価期間が 106 年となるのは、破断時の伸びが 29%となったときだと分かる (グラフ一番右側の赤丸印)。照射前の初期値は 420%だから 29%はその約 0.07 倍に相当する。では、この 29%はいったいどこ



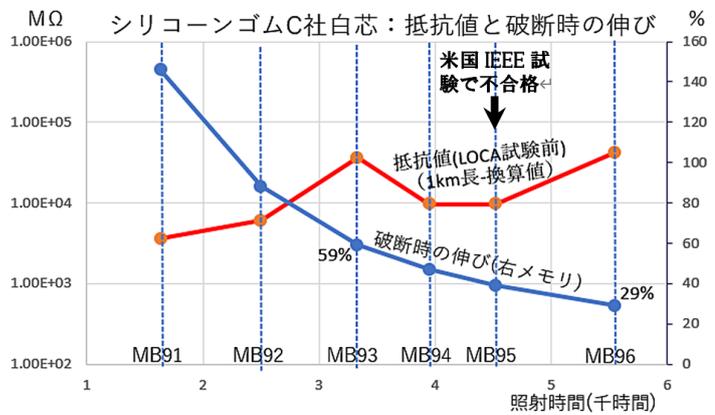
から来たのか、それは次のグラフから明らかになる。

次図は加速劣化試験における「破断時の伸び」と「絶縁抵抗値」を表している。加速条件である温度 100°C と放射線量率約 100Gy/h の下で、横軸が示す 6 段階の照射時間に応じた供試体が

MB91 から MB96 で表されている。このデータは JNES・SS レポートの表 2.4.2-1 の「破断時の伸び」及び表 2.4.2-43 の抵抗値であり、どちらも LOCA(1 次冷却材喪失事故) が起こる前の値である(抵抗値としては表中の 2 つの数値のうち 1km 長・換算値を用いた)。

MB91~MB96 の 6 つの供試体はどれも JIS 試験に合格しており、そのうちの最劣化した場合の破断時の伸びが前述の 29%で関電はこれを採用したのである。ただし、MB95 は米国の IEEE 試験では不合格になっている。

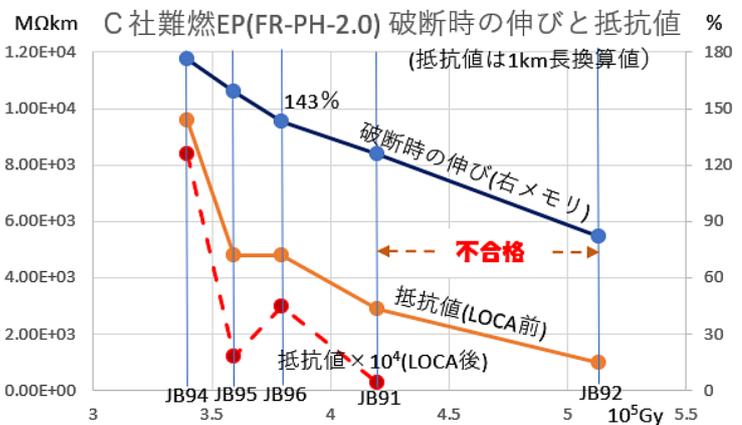
結局、加速試験をした供試体のうちで破断時の伸びが最小、すなわち最も劣化した場合に対応する期間を運転可能期間としたことになる。



3. LOCA 時の蒸気暴露試験で各種ケーブルは怎么样了か

これまで見てきた「破断時の伸び」は、事故条件に入る前の通常運転中の劣化だけの影響によるものであった。しかし、最初の図で関電が認めていたように、性能低下は事故時条件で急速に進展するのであり、「事故時の健全性を事前の点検で担保するのは困難」なはずである。

そこで、難燃 KK 以外のケーブルについて、事故時の蒸気暴露の影響がどう表れているか見ておこう。例えば、C 社難燃 EP (FR-PH-2.0) の場合は次図のようになる。横軸の照射線量は照射時間にほぼ比例している。このグラフは白芯の場合で、JIS 試験で不合格であり、黒芯と赤芯の JB91 はその前の蒸気暴露段階ですでに故障発生となっている。結果的に途中の JB96 が JIS 合格したうちで破断時の伸びが最小の場合となる。そのときの伸びは 143%で、初期値 506%の 0.28 倍に相当している(故障が起こった JB91 の伸びは 126%で初期値の 0.25 倍に相当している)。



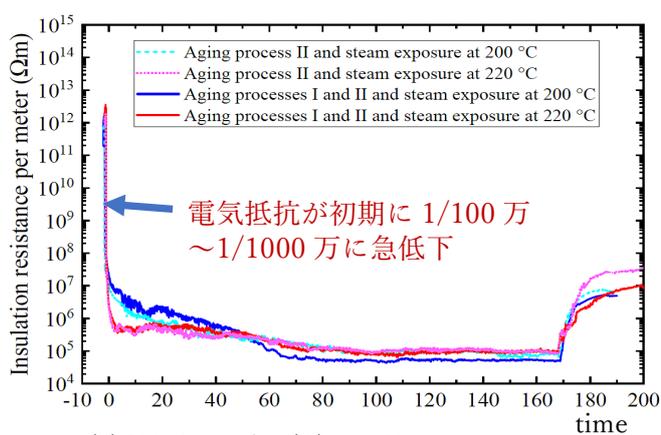
次に、いろいろな種類のケーブルで、蒸気暴露によって短絡(ショート)などの故障が起こるかどうか見ておこう。次表は実際に故障が起こった場合で、そのときの破断時の伸びが初期値の何倍になるかを表している。

この結果「破断時の伸び」が初期値の 0.384 倍ですでに故障が発生しており、最も劣化が進んだ場合でも 0.161 倍で発生している。「破断時の伸び」を劣化の指標と考える以上、せめて初期値の 0.161 程度に劣化すれば、事故時の蒸気暴露で故障が起こり得ると考えるべきではないだろうか。

ケーブルの種類	破損した供試体番号	伸び/伸び初期値
CV-2.0-A	A-B-91	0.344
FR-CV-2.0-A	C-B-92	0.384
PG-2.0	F-B-84	0.161
FR-PW-2.0-B	H-B-94	0.255
FR-PH-2.0(白)	J-B-91	0.249

◆シリコンゴム絶縁体ケーブルの蒸気暴露試験

蒸気暴露で絶縁体が故障を起こすという上記の事実が気になったためか、2019年11月に原子力規制委員会が「NRA 技術報告：重大事故環境下におけるケーブルの絶縁特性の分析」を公表し、蒸気暴露中の初期に絶縁抵抗が急激に低下することを明らかにした。どんな種類のケーブルでも同様の挙動を示しているが、右図で示すのは難燃 KK と同じシリコンゴムの絶縁体の挙動である。抵抗値が初期に一気に 100 万分の 1 以下に落ち込んでいる。



(a)SiR ケーブル(P)= C 社シリコンゴム

このような事実も考慮すれば、難燃 KK も破断時の伸びが初期値のせめて 0.14 倍(59%)となる M-B-93 の場合を最劣化した場合とするべきである。

この NRA 技術報告では最後に、「蒸気暴露中にケーブルの絶縁抵抗を測定し、その測定結果をケーブルの重大事故等時の要求性能と照らし合わせて評価することが重要」(p.62)。「今後、さらに劣化が進んだケーブルについて同様の試験を行い、経年劣化と重大事故時の絶縁性能との関係について調査する必要がある」(p.63)と述べて、この問題が今後に検討すべき問題であるとしている。これに対し 2020 年 5 月の「電気事業者の対応状況」では、絶縁低下の影響は極めて小さいと結論しているが、これは事業者の判断に過ぎない。

このように、原子力規制委員会自身がこの問題は未解決であると 2019 年段階で認めているのに、その前の 2016 年にすでに高浜 1 号炉等が運転期間延長を認可されているのである。

4. 安全余裕を考慮した管理値を設定せよ

JNES-SS レポートの表 5-3 (右図) では、劣化指標管理値案を提案している。破断時の伸びが前述 29%のときに管理値として 40%を提案している。

対象ケーブル	劣化指標管理値案 (破断時の伸び)	備考
C 社シリコンゴム絶縁ケーブル	40%	29%でその後の LOCA に耐えられることを確認

この考えを上記の難燃 KK の 59% (初期値の 0.14 倍) の場合に適用すると、管理値は $59\% \times (40/29) = 81\%$ となり、この値に対応する評価期間は、2 頁下部のグラフより 47 年となる。

5. 規制委には具体的な判定基準がない—高浜 1 号炉の運転期間延長認可は取り消せ

福島みずほ議員事務所でのレク(2016 年 5 月 30 日)で、規制庁担当者に質問した。①関電の説明図に「許容値」や「管理値」が書かれているがそれは何かに対しては「関電から説明を受けていないので知らない」。②規制庁の判断基準では許容値や管理値はどうなっているのかの質問には、「そんなものはない」と答えた。

実際、電気ケーブルについては事故時の蒸気暴露で絶縁性が急低下するが、ケーブルの健全性が保たれているのかどうかはまだ明らかにされていない。これでは審査基準を設定しようがない。

まずは、少なくとも高浜 1 号炉の運転期間延長認可は取り消すべきである。さらに、審査基準もないのに、運転期間を無制限に延長する意図など成り立たずがけない。そのような無謀な動きは止めるべきである。