

事故時に制御が不能となる－電気ケーブルの劣化・絶縁低下 国の具体的な基準なし、関電は最大に劣化するまで使用

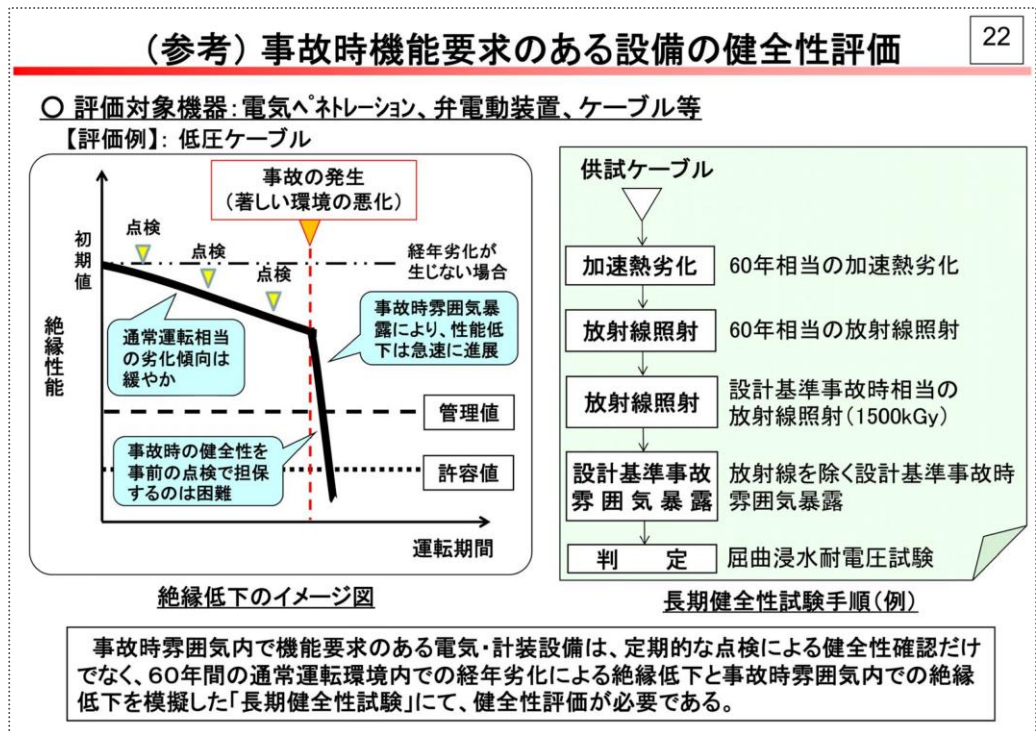
2016.6.8 美浜の会

1. 電気ケーブルの劣化・絶縁低下の問題－その特性と重要性

電気ケーブルは人体では血管や神経に例えられる。その機能及び経年劣化の特性について、JNESの「最終報告書」(文献1：以下、JNES最終報告)では、最初の要約の出だしで次のように述べている。「原子カプラントで使用されているケーブルは全長約1000～2000kmにおよび、電動機等の機器へ電力を供給する機能や機器の監視・制御信号を伝達する機能を有し、特に安全系ケーブルは、供用期間末期に設計想定事故環境に晒された場合においても機能維持が不可欠である。これらのケーブルは、通常運転時の熱・放射線環境において酸化等により徐々に経年劣化が進行するとともに、設計想定事故時の高温水蒸気と高放射線量の過酷な環境により急激な性能低下を引き起こす可能性のあることが知られている」。

絶縁低下がこのような性質の問題であることは、関西電力(関電)も2015年12月10日付報告書(文献2：以下、関電報告書)22頁(下図)で次のように認めている。

- ・通常運転中の劣化傾向は緩やか。
- ・事故時の性能低下は急速に進展。
- ・事故時の健全性を事前の点検で担保することは困難。
- ・そのため、60年間の通常運転環境内の経年劣化による絶縁低下と事故時の雰囲気内での絶縁低下を模擬した「長期健全性試験」にて健全性評価が必要である。



結局、電気ケーブルの経年劣化の評価は、実機ケーブルと同等な供試体を用い、かつ実機環境を的確に模擬した試験とその評価に委ねられることになる。最も肝心な点は、どのような状態になれば使用不可能と判断するのか、その判定基準をどう設定するのかにあると考えられる。

もしこの判断を誤れば、重大事故時に電気ケーブルは機能を失い、状況判断も制御もできないという恐ろしい事態に陥ることになる。その点、上図では「絶縁性能」に関して「許容値」と「管理値」が設定されているかのようである。ところが、5月30日福島みずほ議員レクで規制庁に確かめたところ、関電から説明を受けていないので、それらが何を意味するのかさえ把握していないとのこと。では、いったい電気ケーブルの管理・規制はどのように行うのか、以下で具体的に検証しよう。

2. 関電の「評価期間」とは何か、取替の判定基準は？

電気ケーブルのうち、高圧ケーブルはもちろん重要であるが、90%を占めているのが低圧ケーブルであり、そのうち設計基準事故時や重大事故時に「機能を要求されている」のが難燃 PH と難燃 KK である。PH は絶縁体が EP ゴム（エチレン・プロピレンゴム）で、KK は絶縁体がシリコンゴムでできている。関電は低圧ケーブルに関してはこれらを主な評価の対象としている（下図）。

表 2.3-20 実布設環境での長期健全性評価結果【文献4 別紙 16 28 頁】

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 (2011 年度～)	約 65

*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

*6：更新時期は、実際に更新した定検回またはケーブル製造年月以降の至近定検回を記載

関電はケーブルを取り替える方針を立てているが（文献3）、そのうち最も厳しい条件に置かれているのがループ室のケーブルである。つまり格納容器内で原子炉容器、一次系配管、蒸気発生器、1次系ポンプなどのループがある場所のケーブルである。そのうち、難燃 KK は「評価期間」が 106 年と 60 年以上なので更新時期が書かれていない（注釈*5）。この 106 年という数値は注釈*2 に書かれているように、JNES の方法によって計算している。「評価期間」は評価ガイド（文献5）の「検証寿命」と同じだと規制庁は認めた。つまり 106 年とは、その時点で冷却水喪失事故(LOCA)が起こってもケーブルの健全性が保たれるという期間なのだ。

5月30日に規制庁に確かめたところ、次の点が判明した。

- 難燃 KK は、JNES 最終報告で難燃 KK-1.25（C社シリコンゴム）に相当している。
- そのケーブルは様々な試験条件のもとに置かれてきているが、その中で LOCA 試験に合格したものを選び、さらに最も厳しい試験条件（通常運転時の模擬条件）に置かれた場合を選ぶ。それは「破断時の伸び」（供試体を引っ張って破断したときの伸び）が最小になる場合、すなわち最も劣化した場合に相当する。その伸びの数値は右図最下行の備考欄に 29%と書かれている。

表 5-3 劣化指標管理値案

対象ケーブル	劣化指標管理値案 (破断時の伸び)	備考
A 社難燃 EP ゴム 絶縁ケーブル	70%	60%でその後の LOCA に耐えられることを確認
B 社難燃 EP ゴム 絶縁ケーブル	230%	204%でその後の LOCA に耐えられることを確認
C 社難燃 EP ゴム 絶縁ケーブル	210%	184%でその後の LOCA に耐えられることを確認
A 社シリコンゴム 絶縁ケーブル	30%	24%でその後の LOCA に耐えられることを確認
B 社シリコンゴム 絶縁ケーブル	40%	30%でその後の LOCA に耐えられることを確認
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

JNES 最終報告【文献1 256 頁 表 5-3 より抜粋】

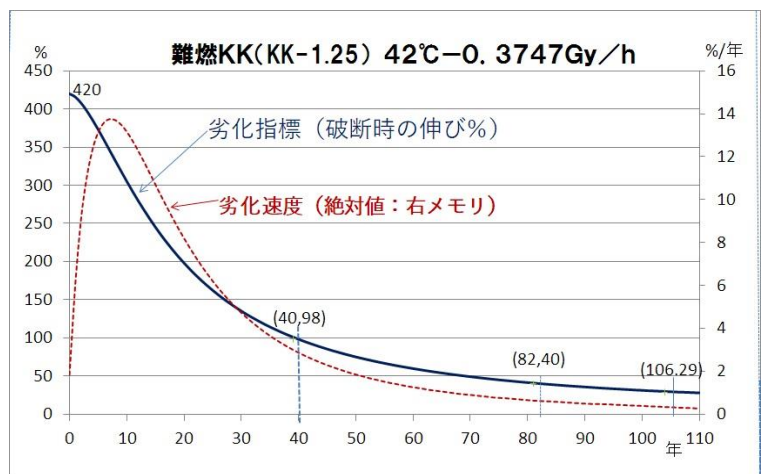
- 次頁の図（長尺のみ抜粋）では破断時の伸びは 146%～29%までであるが、選ばれたのは最小値の 29%であり、劣化なし初期値 420%のわずか 1/14.5 に過ぎない。それほどひどく劣化するまでの期間を「評価期間」として選んでいる。

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 シリコーンゴム 絶縁ケーブル [KK-1.25]	M-B-91		○	100℃	105Gy/h	1,652Hr	1,637Hr	146%	第 10 回
	M-B-92		○	100℃	104Gy/h	2,519Hr	2,498Hr	88%	
	M-B-93		○	100℃	104Gy/h	3,359Hr	3,331Hr	59%	
	M-B-94		○	100℃	99.8Gy/h	3,964Hr	3,946Hr	47%	第 12 回
	M-B-95		○	100℃	99.9Gy/h	4,540Hr	4,519Hr	39%	
	M-B-96		○	100℃	99.9Gy/h	5,577Hr	5,549Hr	29%	

【文献1 139頁 表 2.4.2-1(2/2)より抜粋】

- 期間を追っての劣化状況は前記表 2.3-20 の注釈*2 (JNES の方法) を適用すれば計算できて下図のようになる。確かに 106 年時点での破断時の伸びは 29%であることが確認できる。
- JNES の前記表 5-3 劣化指標管理値案には、29%に 10%程度の余裕をもたせた値を管理値とする案が書かれている。その値は 40%であり、それに相当する期間は右図より 82 年となる。これは 60 年を超えているが、それでも関電はこの管理値を採用せず、あくまでも元の 106 年で押し通している。
- 右図を見れば、40 年時点で伸びは約 100%であり、すでに初期値の約 1/4 程度にまで劣化している。その頃から劣化は緩やかになることが、右図点線の劣化速度 (の大きさ) から明らかである。結局、40 年時点と 106 年時点との劣化に大差はなく、安全側に見るなら、40 年時点で十分劣化していると判断すべきではないだろうか。
- 結局、関電報告書の 22 頁に書かれていた「絶縁性能」とは JNES 最終報告に照らして見れば破断時の伸びであり、「許容値」は最も劣化した最小値 29%に相当しているようである。JNES に照らすと「管理値」は 40%だが、関電はこれを無視していることが明らかになった。



JNES の評価方法でグラフ作成：美浜の会

3. 何の判断も規制もしない国の管理方針

規制庁に確認した結果、次のようなおどろくべき姿勢であることが明らかになった。

- 規制庁としては、このような関電の方針をただそのまま容認する。JNES の管理値案を採用するよう指導することさえしない。それはあくまでも JNES の案だからと述べただけ。
- 配管の場合は、ある程度の深さの傷があれば取替を要求される。そのような具体的な許容値や管理値はあるのかと聞くと、「基準はあります」として下記の「審査基準」を何度も読み上げた。要するに具体的な規格は存在しないということである。

◆ 運転期間延長審査基準

環境認定試験による健全性評価の結果、設計基準事故環境下で機能が要求される電気・計装設備及び重大事故等環境下で機能が要求される電気・計装設備に有意な絶縁低下が生じないこと。

- このようにして、破断時の伸びが 29%になるまで劣化させる期間を評価期間として関電が選べばそれをそのまま容認する。その間、そのケーブルは取り替える必要はないとして使用することを容認するというのが国の方針であることが明白になった。

4. 「代表機器以外の評価結果」が示す危険性

関電報告書（文献2）は15～19頁において、「代表機器以外の評価結果」を示している。そのうち、たとえば16頁の「ケーブル接続部」は事故時に機能要求される部分であると規制庁は認めた。

このうち、「高圧コネクタ接続」については、健全性評価として「長期健全性試験を実施していないため、絶縁低下の可能性は否定できない」と書かれている。総合評価では「絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切」とし、高経年化への対応としては、「絶縁抵抗測定を実施していく」となっている。

電気ケーブルでは、事故時の絶縁低下は予測困難であると認めながら、ここでは測定で判断できることを前提としている。この点を規制庁に確かめると、「事業者は現状保全で管理すると言っているのか」とか、「事業者がそのように整理してきたのか」とか、とにかく関電まかせであった。

5. 結論

関電は最も劣化が進んだ場合を判断の基準とし、規制庁には独自の判断基準がない。これでどうして、何に基づいて審査するのか、安全性が保証されるのか、広く問題にして行かねばならない。

■LOCA 試験について

LOCA 試験に合格することが評価期間を評価する場合の前提になっているが、その試験では限られた数の供試体を用いるだけなので、その結果がすべてに当てはまると判断するのは危険である。

また、LOCA条件にケーブルを晒した後、耐電圧試験を行うのであるが、その条件としては、日本のJIS規格では1.5kV-1分であり、米国のIEEEの2.6kV-5分よりはるかに緩やかな条件を採用している。実際、難燃KKや難燃PHでは、JIS試験に合格していても、IEEE試験には不合格になっている場合がある（下図：文献1より）。

表 2.4.2-32 C社難燃EPゴム絶縁ケーブル(FR-PH-2.0)の判定試験結果

供試ケーブル番号	蒸気暴露中課電 DC : 750V	JIS耐電圧試験 AC1500V-1分	IEEE耐電圧試験 AC2600V-5分	IEEE 屈曲浸水 耐電圧試験	備考
J-B-96	黒芯	良	良	2000V 課電で不良	—
	白芯	良	良	2200V 課電で不良	—
	赤芯	良	良	2000V 課電で不良	—

表 2.4.2-42 C社シリコンゴム絶縁ケーブル(KK-1.25)の判定試験結果

供試体番号	蒸気暴露中課電 DC : 750V	JIS耐電圧試験 AC1500V-1分	IEEE耐電圧試験 AC3200V-5分	IEEE 屈曲浸水 耐電圧試験	備考
M-B-95	黒芯	良	良	2500V で不良	—
	白芯	良	良	2300V で不良	—
	赤芯	良	良	2200V で不良	—
	緑芯	良	良	2600V で不良	—

JNESは、IEEE試験条件は厳しすぎるとして、JIS試験に合格すればよしとする態度をとっているようである。ところが、関電は文献2において、IEEEの試験をも合格条件として挙げている。そうである以上、すべてについて厳しい方を適用すべきではないだろうか。

■参考文献 (URL)

文献1：JNES 原子力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年7月 原子力安全基盤機構・原子力システム安全部
<https://www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000013215.pdf>

文献2：高浜発電所1、2号炉の劣化状況評価（電気・計装品絶縁低下）
H27(2015)年12月10日 関電 高浜1・2号適合性審査会合：文献1-5
<http://www.nsr.go.jp/data/000132661.pdf>

文献3：高浜1号に関する規制庁質問事項に対する2015年12月9日付関電回答、8頁
<https://www.nsr.go.jp/data/000133495.pdf>

文献4：高浜1号機に関する2015年11月16日付高浜1号機延長補正申請書の補正別紙16、2 低圧ケーブル
<https://www.nsr.go.jp/data/000129752.pdf>

文献5：原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド JNES-RE-2013-2049 平成26(2014)年2月 JNES
<https://www.nsr.go.jp/archive/JNES/content/000127230.pdf>