

高浜1・2号等 電気ケーブルが 重大事故時に絶縁低下

制御不能・事故の拡大は防げない

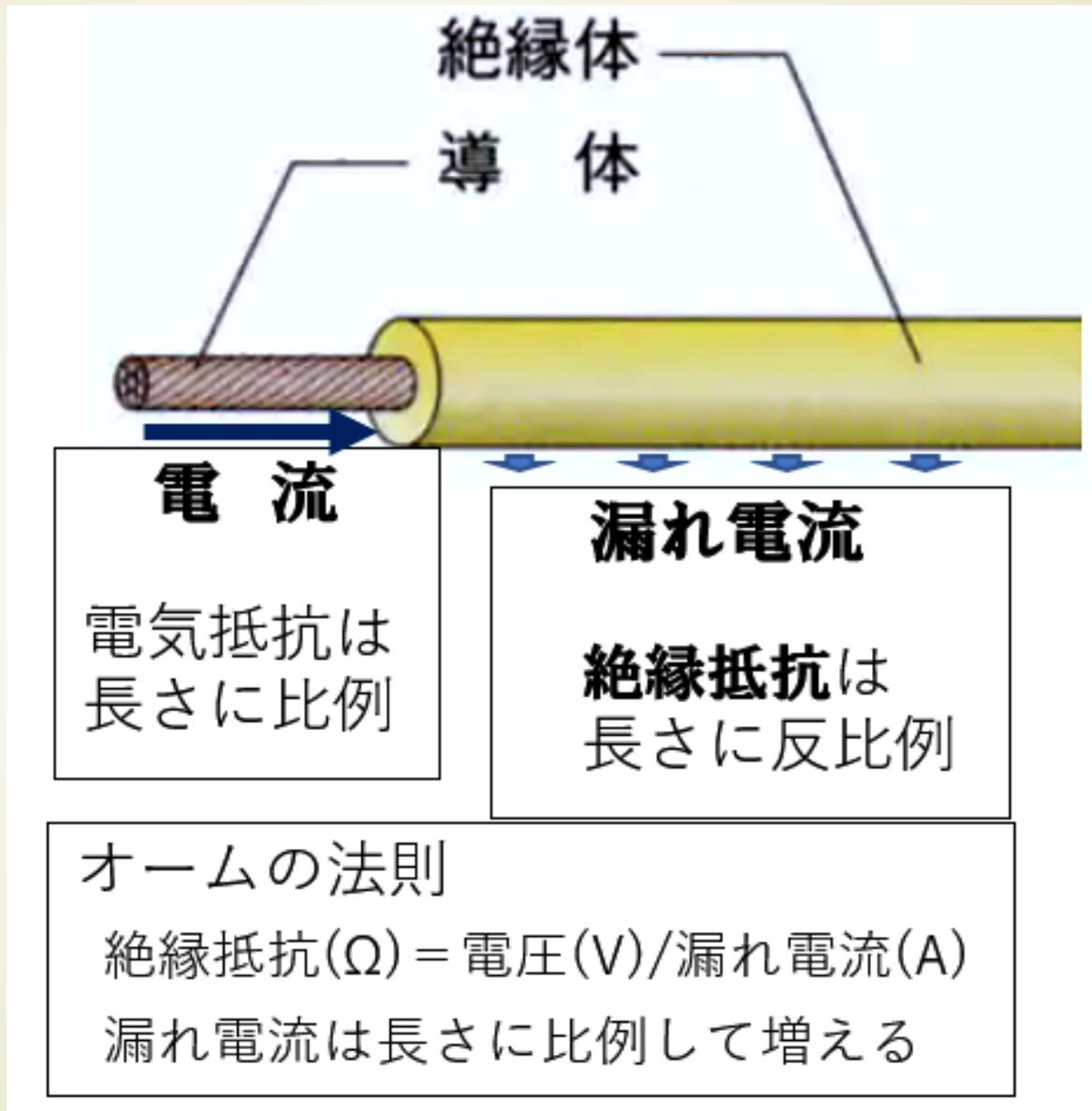
2023年4月30日 小山 英之

- ◆ 運転期間延長認可 高浜1・2: 2016.6, 美浜3: 2016.11
 - ◆ 認可の審査内容は
2009.7 JNES 最終報告・SSレポートに基づく。
(JNES(原子力安全基盤機構) 2014.3.1に規制庁と統合)
 - ◆ 2019.11にNRA(原子力規制委員会)技術報告で批判的結果
- ⇒ 2016年の認可は審査しなおすべき。
判断基準には不可解な面がある。

補足2

1-3

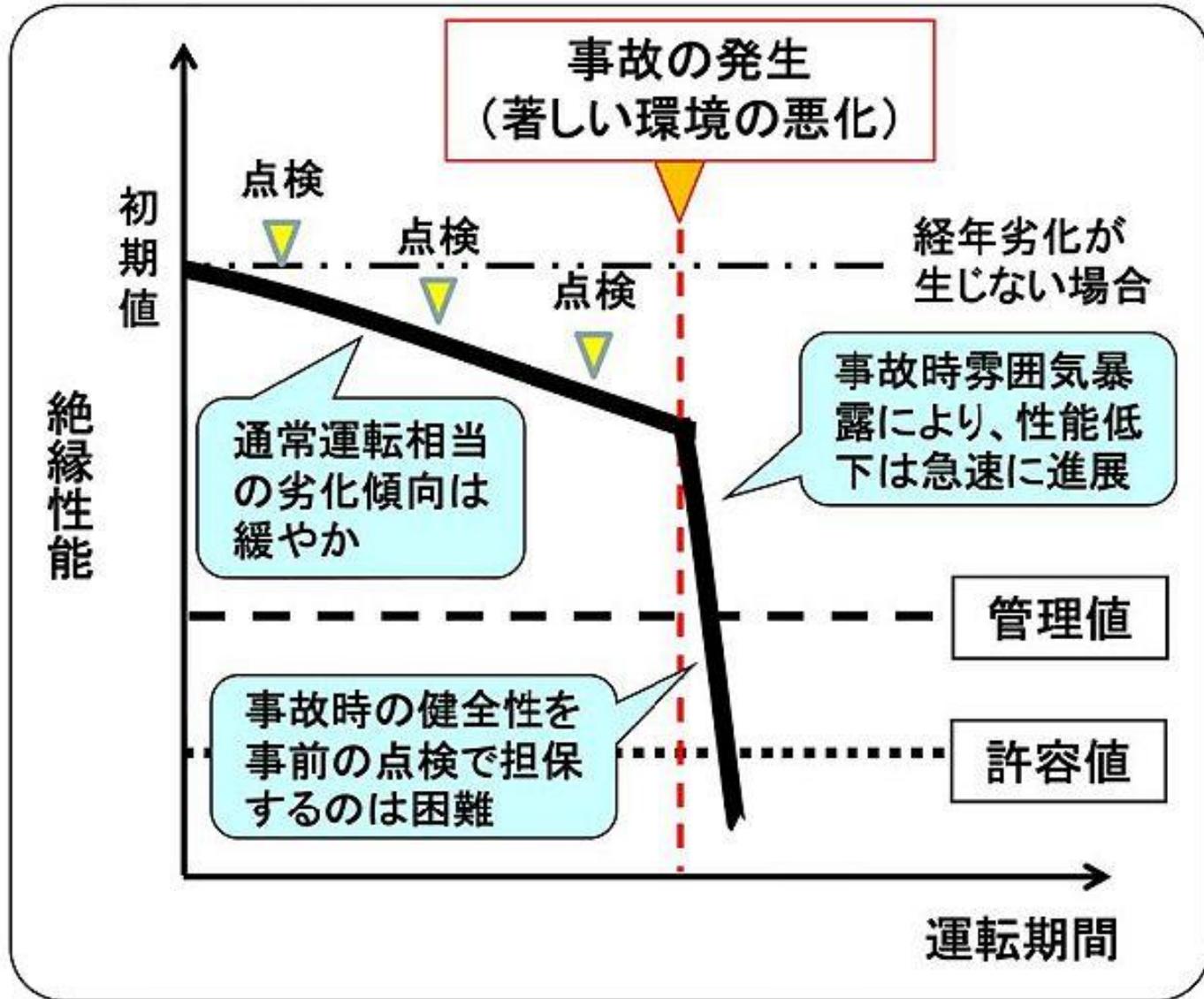
絶縁抵抗はケーブル長さに反比例する



【評価例】： 低圧ケーブル

(関電の説明図)

2



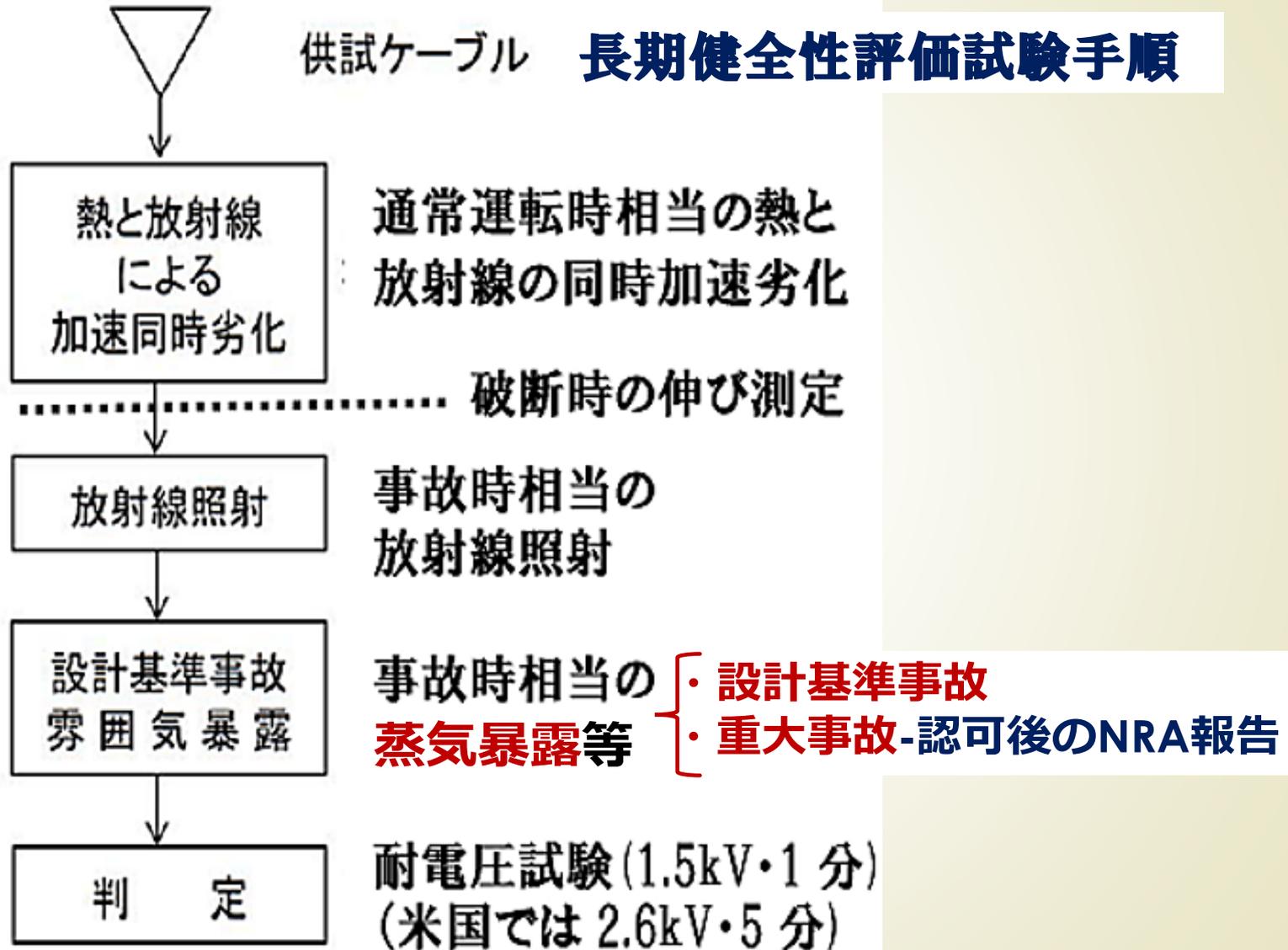
絶縁低下のイメージ図

(2015.12.10関電報告書p.12より)

事故時の健全性を長期健全性評価試験で評価する

3

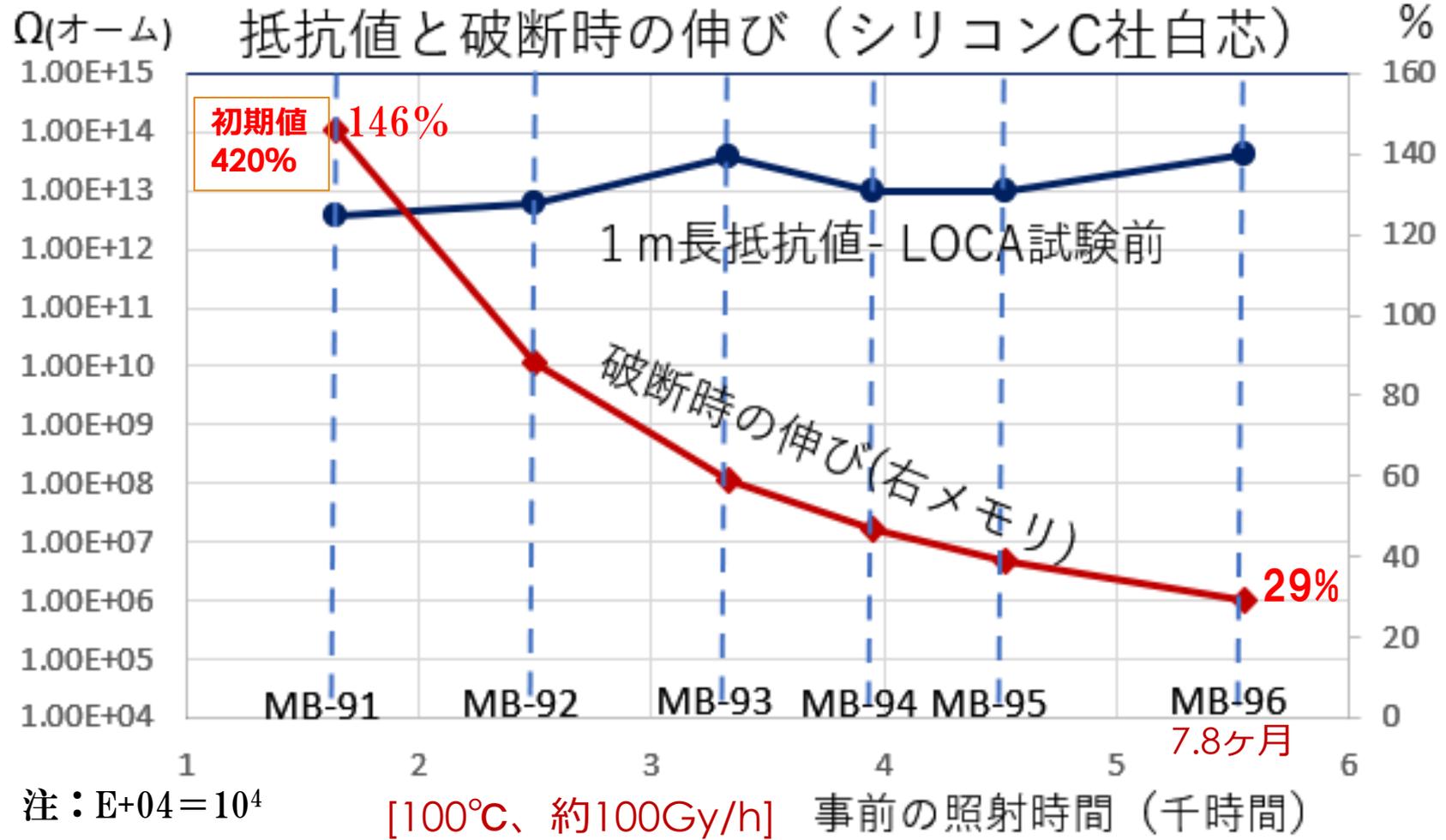
供試ケーブル 長期健全性評価試験手順



事故時模擬試験

事故前の通常運転中の劣化

4



- ◆破断時の伸びは運転時の劣化を反映している。
29%まで使用可能と判断。
- ◆しかし、抵抗値は運転時の劣化を反映していない？

二重の審査基準・判断基準

5

◆運転期間延長審査基準（2016年4月上旬に改訂）

電気・計装設備の絶縁低下については、

「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。」（改定により下線部が新たに付加）。

2016年6月高浜1・2号認可で、重大事故は考慮されているか？

◆破断時の伸び（平成13年度検討会総合資料）

「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」。

★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。関電は破断時の伸びが29%まで運転可能と判断。

関電が高浜 1 号の難燃KKは106年使用可能と判断した方法

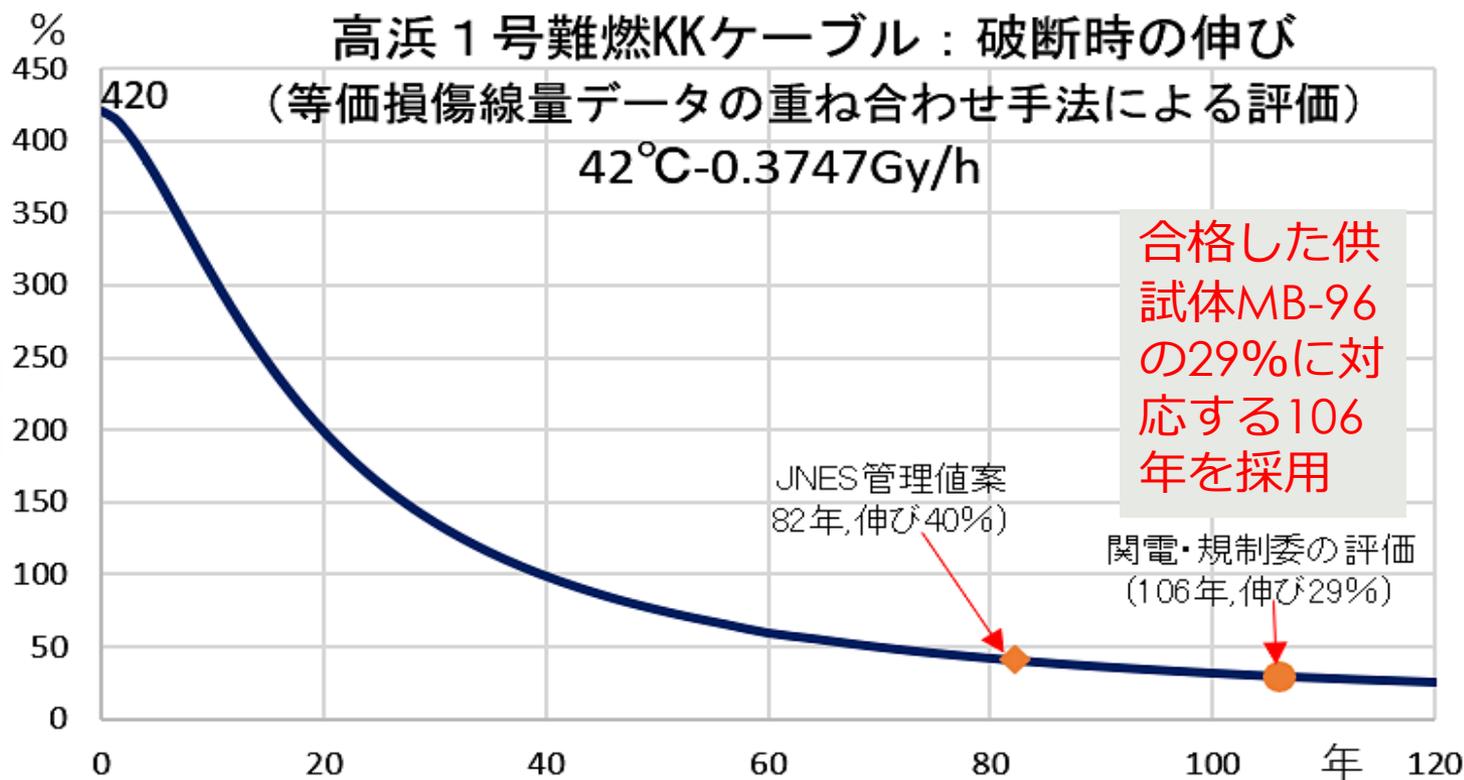
6

高浜 1 号

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

*2 等価損傷線量データの重ね合わせ手法により評価



合格した供試体MB-96の29%に対応する106年を採用

関電・規制委の評価 (106年, 伸び29%)

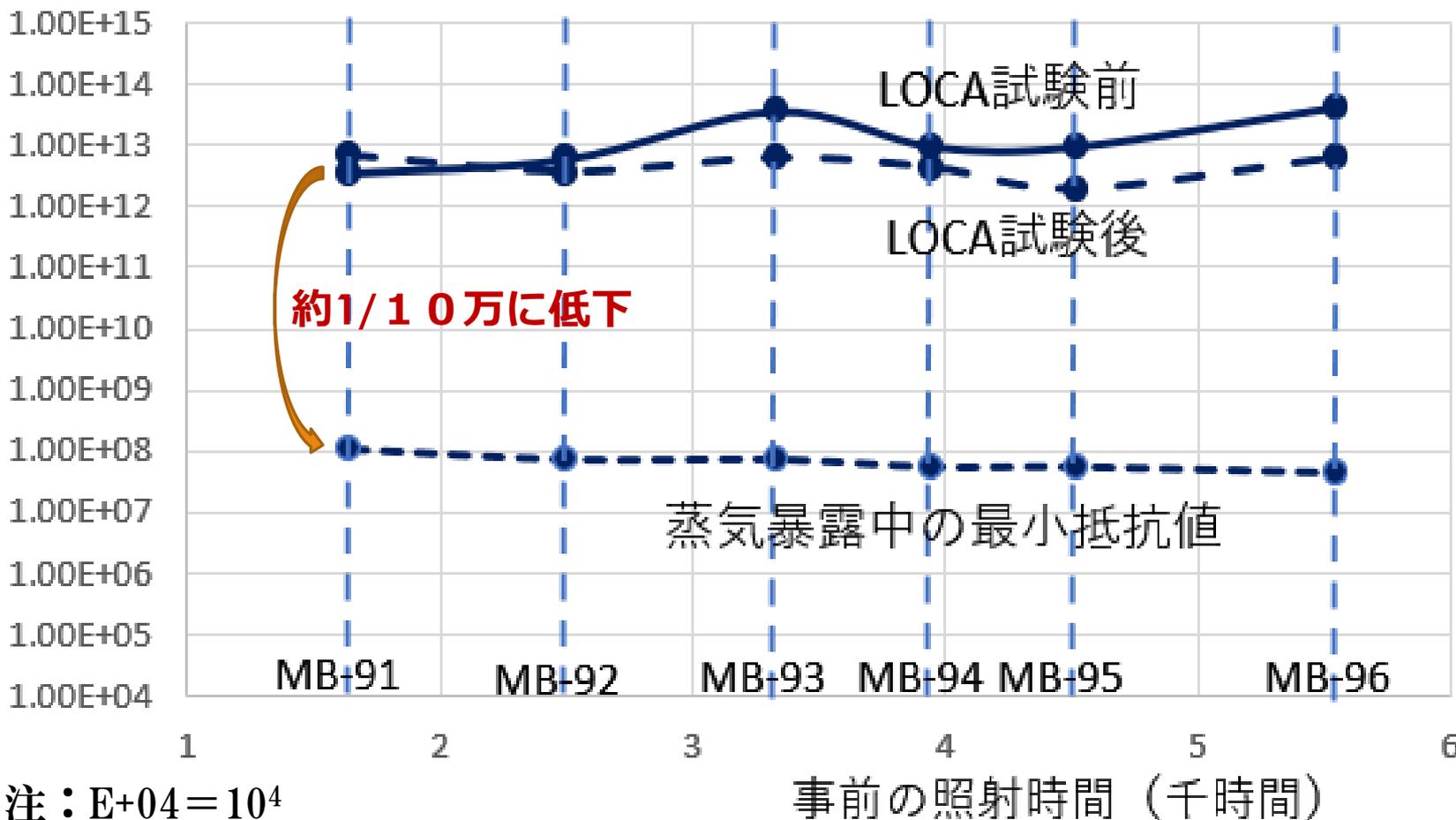
破断時の伸び29%は初期値420%の6.9%と低い。伸びは60年頃からほぼ横ばい状態に注意。

事故の影響

抵抗値：事故の前、最中(最小)、後

7

Ω(オーム) 1 m長抵抗値 (シリコーンゴムC社白芯)



- ◆蒸気暴露終了後はほぼ元の状態に回復⇒1分間課電試験で合格
- 蒸気暴露中の抵抗値低下が問題⇒重大事故ではどうなる？

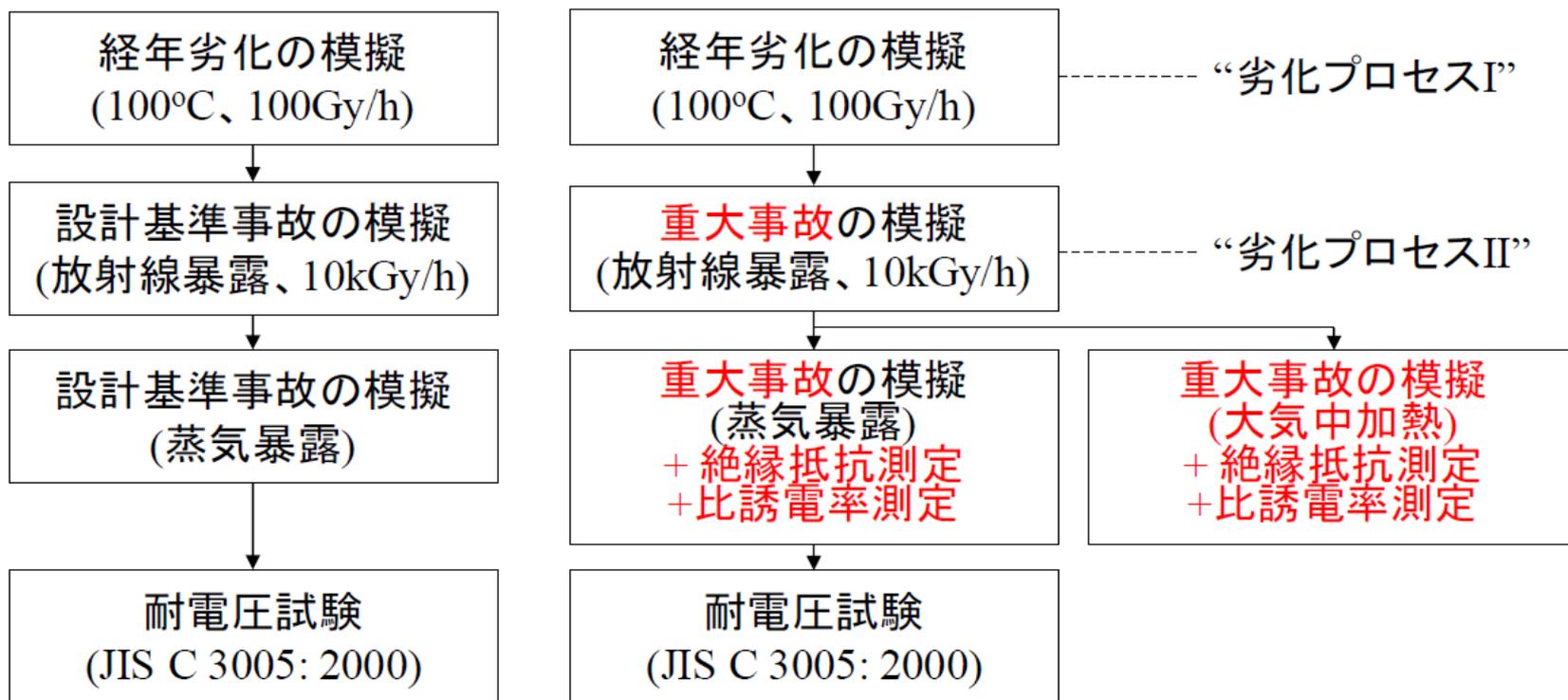
2016年に高浜1・2号、美浜3号の運転期間延長が認可された後 2019年のNRA（原子力規制委員会） の技術報告(p.4)における問題提起

これにより、重大事故等対処設備に該当する原子炉格納容器内のケーブルは、通常運転時の使用条件による経年劣化を経験した後に、重大事故等が発生した場合においても絶縁性能を維持することが要求されることから、経年劣化及び重大事故等を想定した健全性評価が求められる²⁶⁻²⁸。

一方で、このような重大事故等時のケーブルの健全性評価は、従来の設計基準事故時の健全性評価手法を規定した電気学会推奨案¹⁹に基づく試験又は同案の試験項目を参考として実施した試験の結果に基づき行われている^{29,30}。

また、重大事故を模擬する蒸気暴露中におけるケーブルの絶縁性能の詳細は明らかではない。

NRAの試験手順

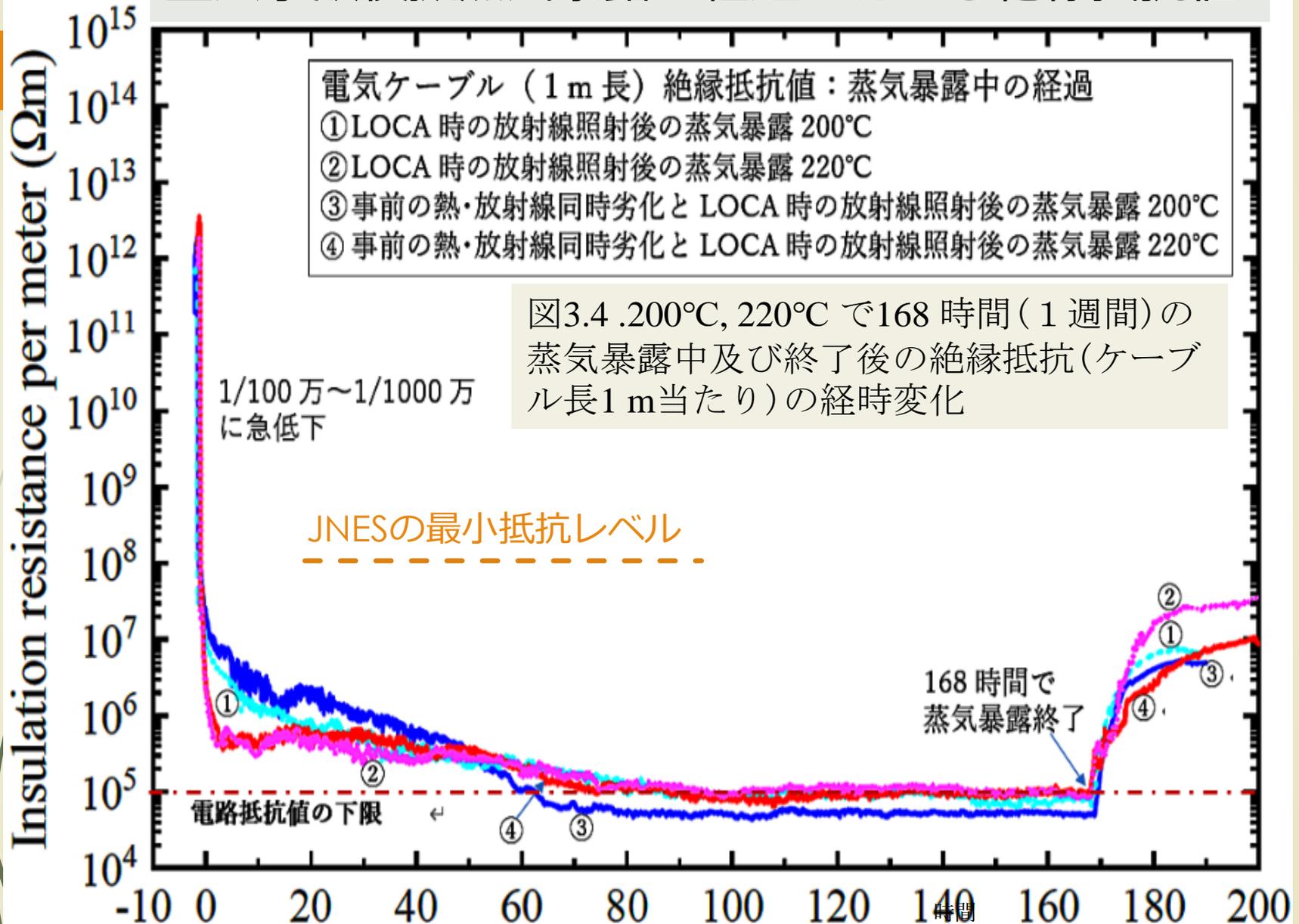


(a) JNESガイド²²

重大事故 (b) 本研究の試験手順
が問題

図2.2 JNESガイドで示されているケーブル試験手順及び本研究の試験手順 (JNESガイドから試験項目を変更した箇所及び追加した箇所を赤字で示している)

重大事故模擬蒸気暴露の経過における絶縁抵抗値



注：NRA技術報告、図3.4(a)に加筆

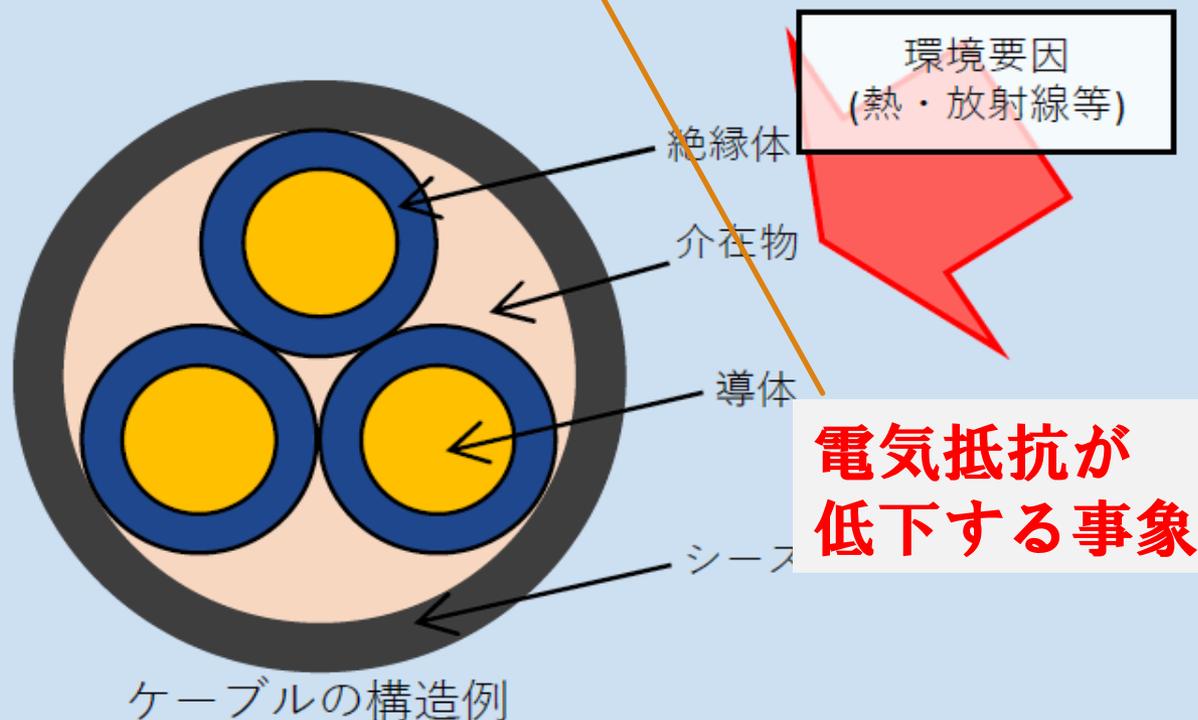
高経年化検討チームの物理的劣化対象

11

停止中でも進展するもの

⑤ 電気・計装設備の絶縁低下 **絶縁低下**

電気・計装設備に使用されている絶縁物が環境要因等で劣化し、電気抵抗が低下する事象。



問題点 疑問点

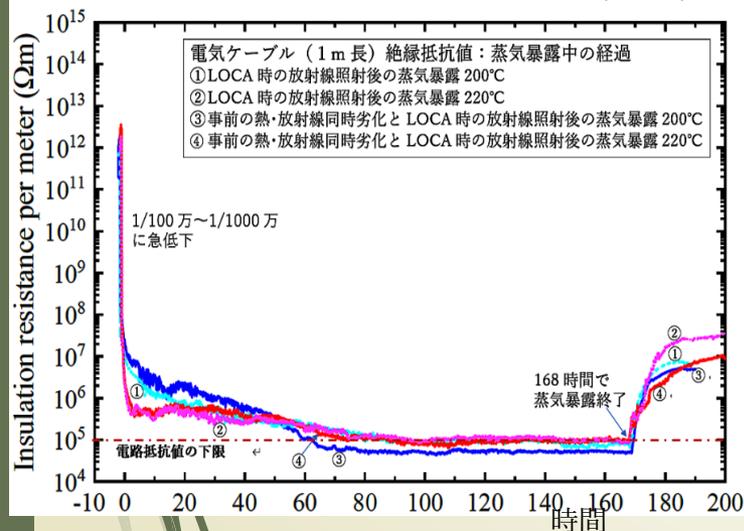
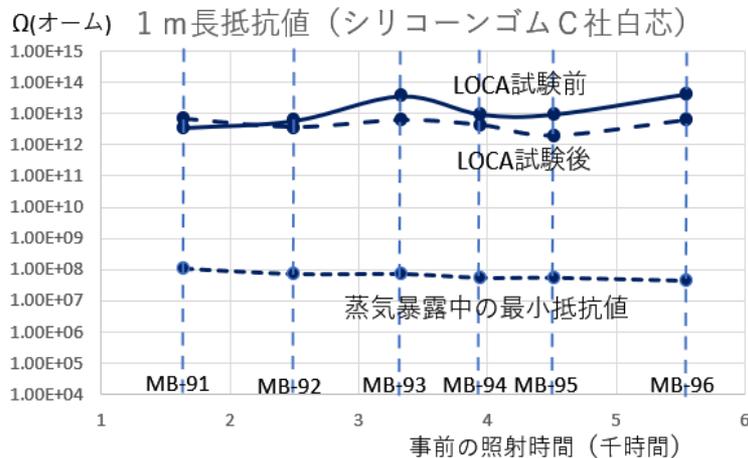
1. 運転期間延長の審査基準では絶縁抵抗値を判断の指標としている。現在の高経年化評価でも絶縁抵抗値を指標として用いている。しかし、絶縁抵抗値は劣化の指標になっていない。

2. 関電は、最終試験合格のうち最も劣化した供試体の破断時の伸びに対応する年数（評価期間）だけ運転可能と判断しているが、その判断と運転期間延長審査基準とはどういう関係にあるのか。

3. NRA報告書の試験結果では、1 m長のケーブルでさえ技術基準を割り込んでいるが、技術基準違反になることを容認するのか。

4. NRAの蒸気暴露試験では計装ケーブルに限ることから課電を100Vにしているが、JNES試験と同様に低圧ケーブルで750V課電にすべきでは。

5. JISの1.5kV、1分課電試験は蒸気暴露終了後の絶縁抵抗が回復した後に実施されている。重大事故中すなわち蒸気暴露中に行うべきではないか。



補足 3

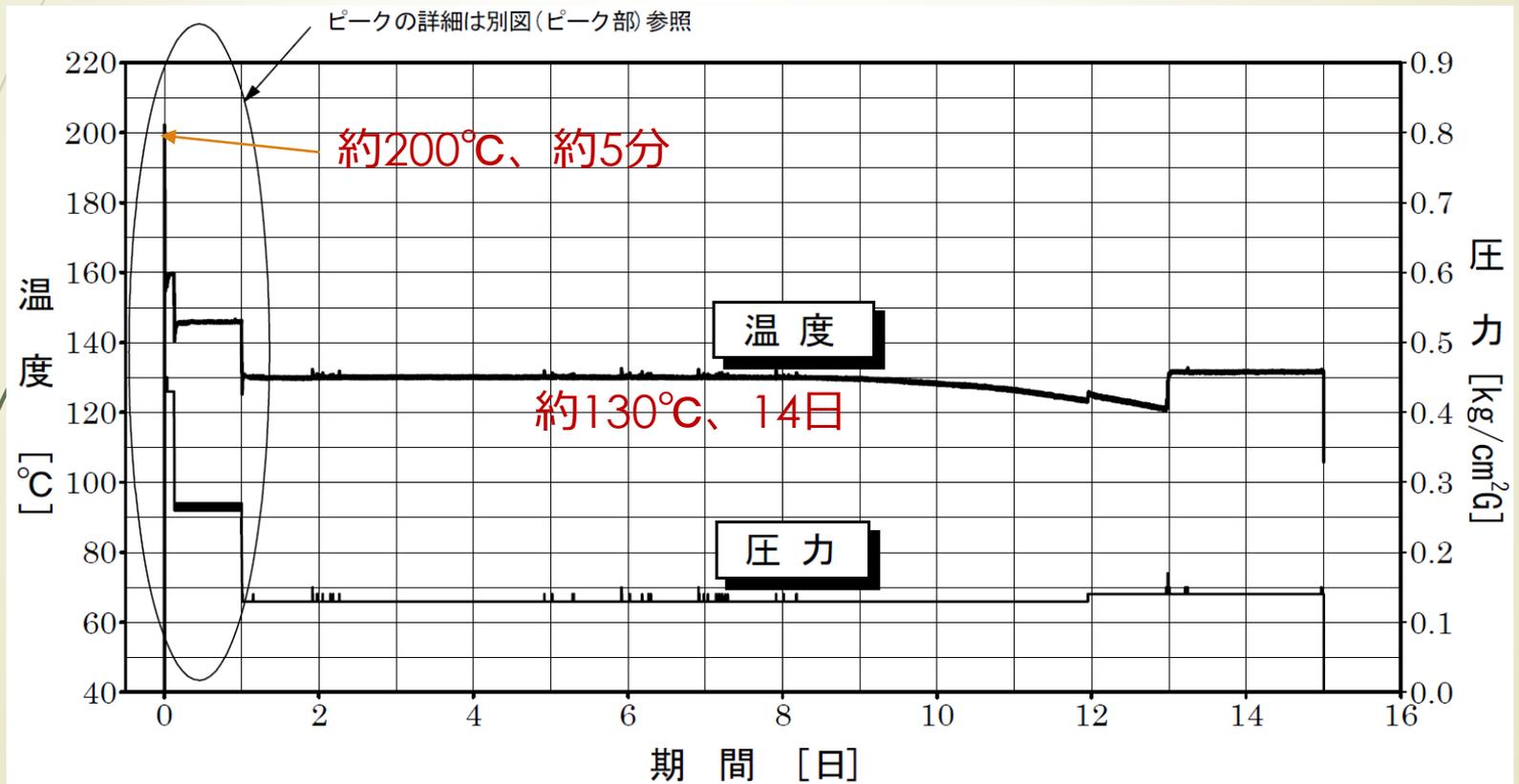
13

関電の報告書における（高浜1・2号等の） 蒸気暴露試験条件

「なお、評価にあたってはJNES SSレポートの試験結果を用いた。」

2015年12月10日 原子力規制委員会 資料1-5

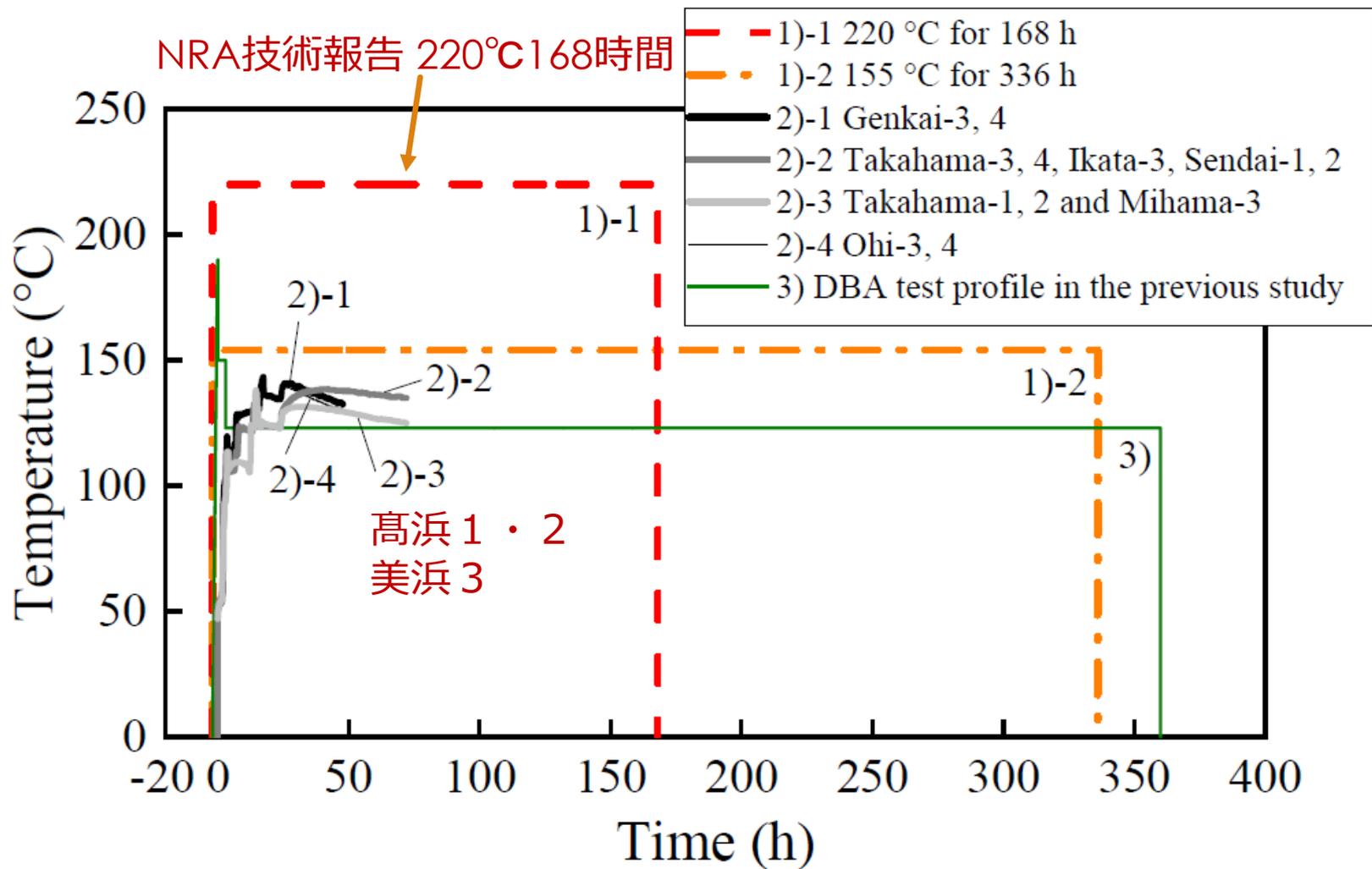
「高浜1、2号炉の劣化状況評価(電気・計装品の絶縁低下)」(関電)



蒸気暴露実施条件：JNES-SSレポート 表2.4.3-11（及び-13）

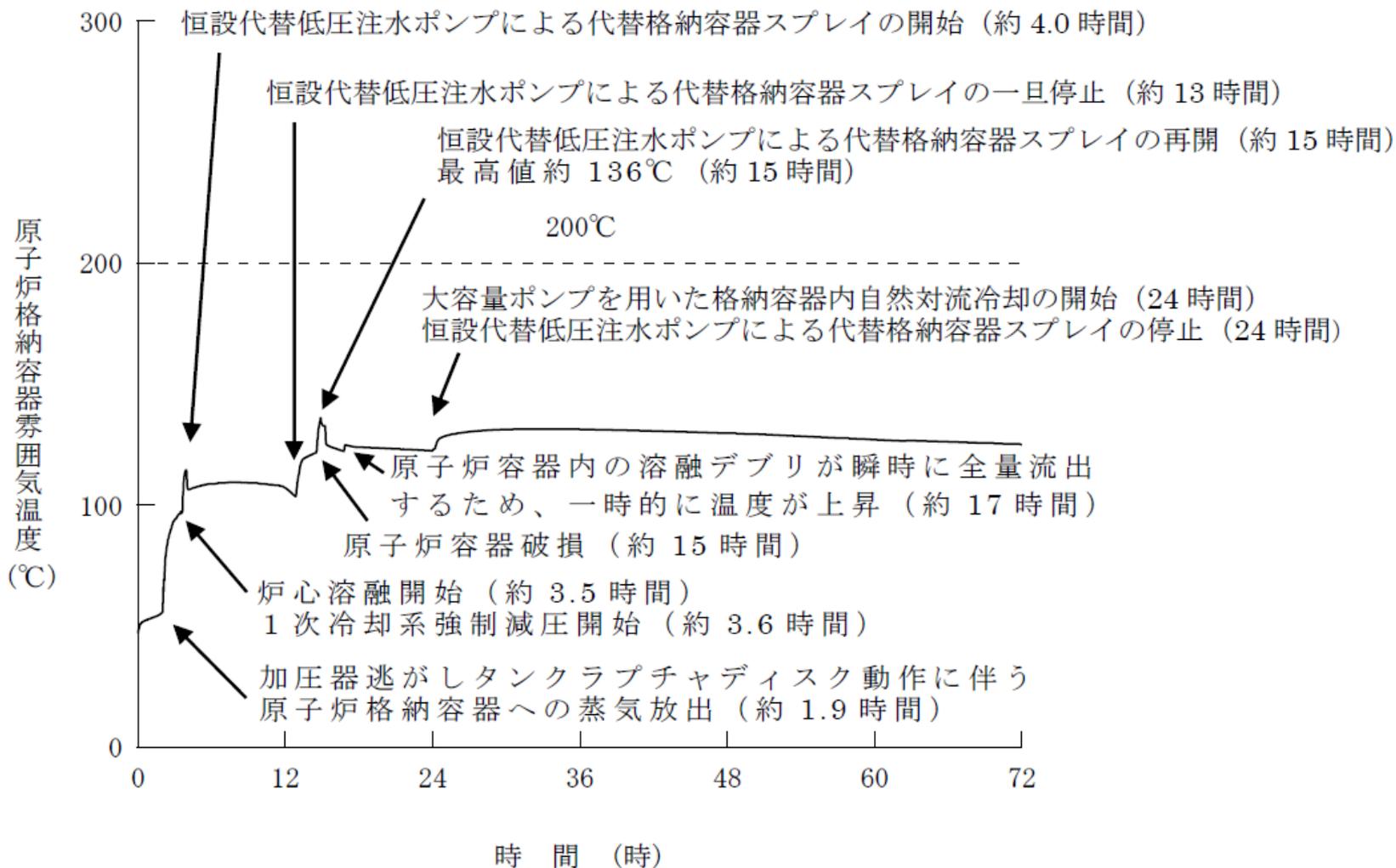
補足 4-1 NRAの温度条件

14



(a) 温度

設置変更許可申請書添付10 重大事故時の温度



第 7.2.1.2.9 図 原子炉格納容器雰囲気温度の推移

補足 5 電路の絶縁抵抗が満たすべき技術基準

16

電気設備技術基準（省令）

第58条 電気使用場所における使用電圧が低圧の電路の電線相互間及び電路と大地との間の絶縁抵抗は，開閉器又は過電流遮断器で区切ることのできる電路ごとに，次の表の左欄に掲げる電路の使用電圧の区分に応じ，それぞれ同表の右欄に掲げる値以上でなければならない。

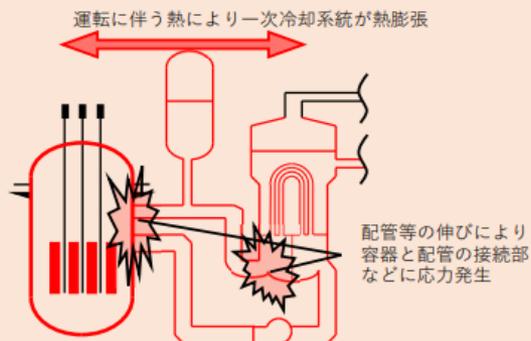
電圧の使用電力の区分		絶縁抵抗値
300V以下	対地電圧（接地式電路においては電線と大地との間の電圧，非接地式電路においては電線間の電圧をいう。以下同じ。）が150V以下の場合	0.1MΩ
	その他の場合	0.2MΩ
300Vを超えるもの		0.4MΩ

NRA技術報告では、1 m長ケーブルで技術基準を割り込んでいる。電路が10mあれば、抵抗値は1/10となるのでさらに大きく割り込み技術基準違反となる。

運転に伴い劣化が進展するもの

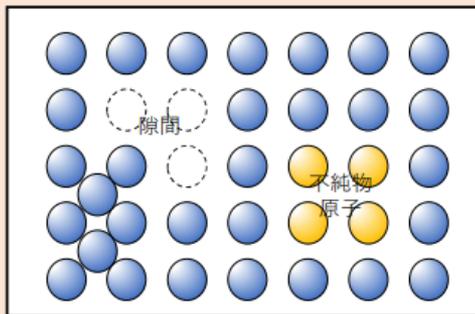
① 低サイクル疲労

温度・圧力の変化によって、大きな繰り返し応力がかかる部位に割れが発生する事象。



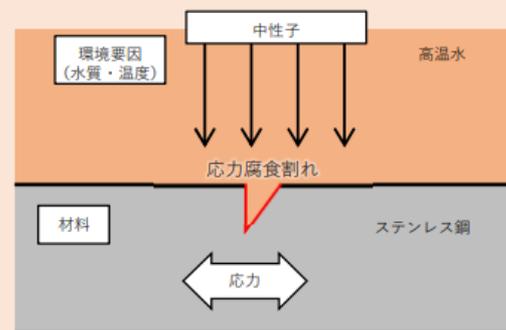
② 原子炉容器の中性子照射脆化

長期間にわたり原子炉容器に中性子が照射されることにより、その強度（靱性）が徐々に低下（脆化）する事象。



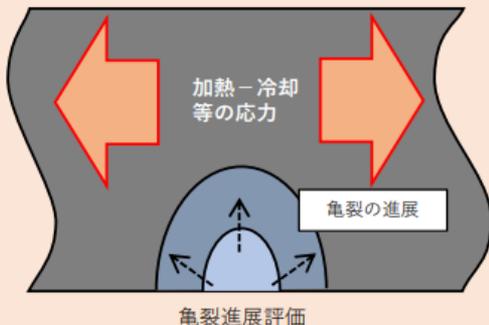
③ 照射誘起型応力腐食割れ

中性子の照射により、応力腐食割れの感受性が高くなり、ひび割れが発生する事象。



④ 2相ステンレス鋼の熱時効

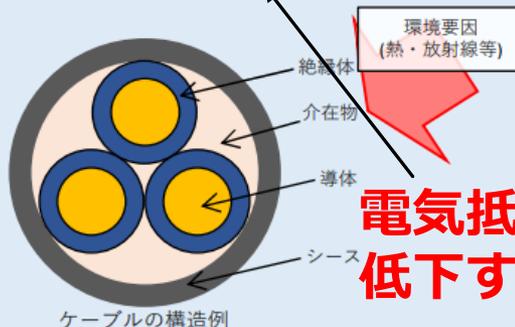
ステンレス鋼が高温での長期使用に伴い、靱性の低下を起こす事象。



停止中でも進展するもの

⑤ 電気・計装設備の絶縁低下

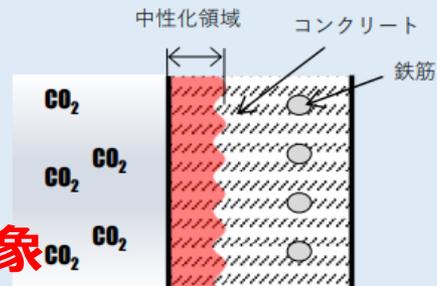
電気・計装設備に使用されている絶縁物が環境要因等で劣化し、電気抵抗が低下する事象。



電気抵抗が低下する事象

⑥ コンクリート構造物の強度低下

コンクリートの強度が、熱、放射線照射等により低下する事象。また、放射線の遮へい能力が熱により低下する事象。



補足 7

18

(予備) JNES SSレポート

表2.4.2-43 C社シリコンゴム(白芯)絶縁ケーブル(KK-1.25)の特性試験結果

供試体番号	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	
M-B-91	$1.2 \times 10^{12} (3.6 \times 10^3)$	$2.2 \times 10^{12} (6.6 \times 10^3)$	0.02mA
M-B-92 ?	$2.0 \times 10^{12} (6.0 \times 10^3)$?	$1.2 \times 10^{12} (3.6 \times 10^3)$	0.03mA
M-B-93	$1.2 \times 10^{13} (3.6 \times 10^4)$	$2.0 \times 10^{12} (6.0 \times 10^3)$	0.03mA
M-B-94	$3.2 \times 10^6 (9.6 \times 10^3)$	$1.4 \times 10^6 (4.2 \times 10^3)$	0.04mA
M-B-95	$3.2 \times 10^6 (9.6 \times 10^3)$	$6.5 \times 10^5 (2.0 \times 10^3)$	0.04mA
M-B-96	$1.4 \times 10^7 (4.2 \times 10^4)$	$2.0 \times 10^6 (6.0 \times 10^3)$	0.05mA

3m供試体値 1km換算値

1km換算値 = $(3/1000) \times 3 \text{ m供試体値}$
 例 : $(3/1000) \times 1.4 \times 10^7 = 4.2 \times 10^4$

**上部 3 行の供試体値は、ΩとMΩ=10⁶Ω
 の誤記によるミスだった
 : 名古屋地裁で国が認めた。**

750V課電なのでオームの法
 則により
 蒸気暴露中の最小絶縁抵抗値
 = 750V / 最大漏れ電流