# 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5月24日

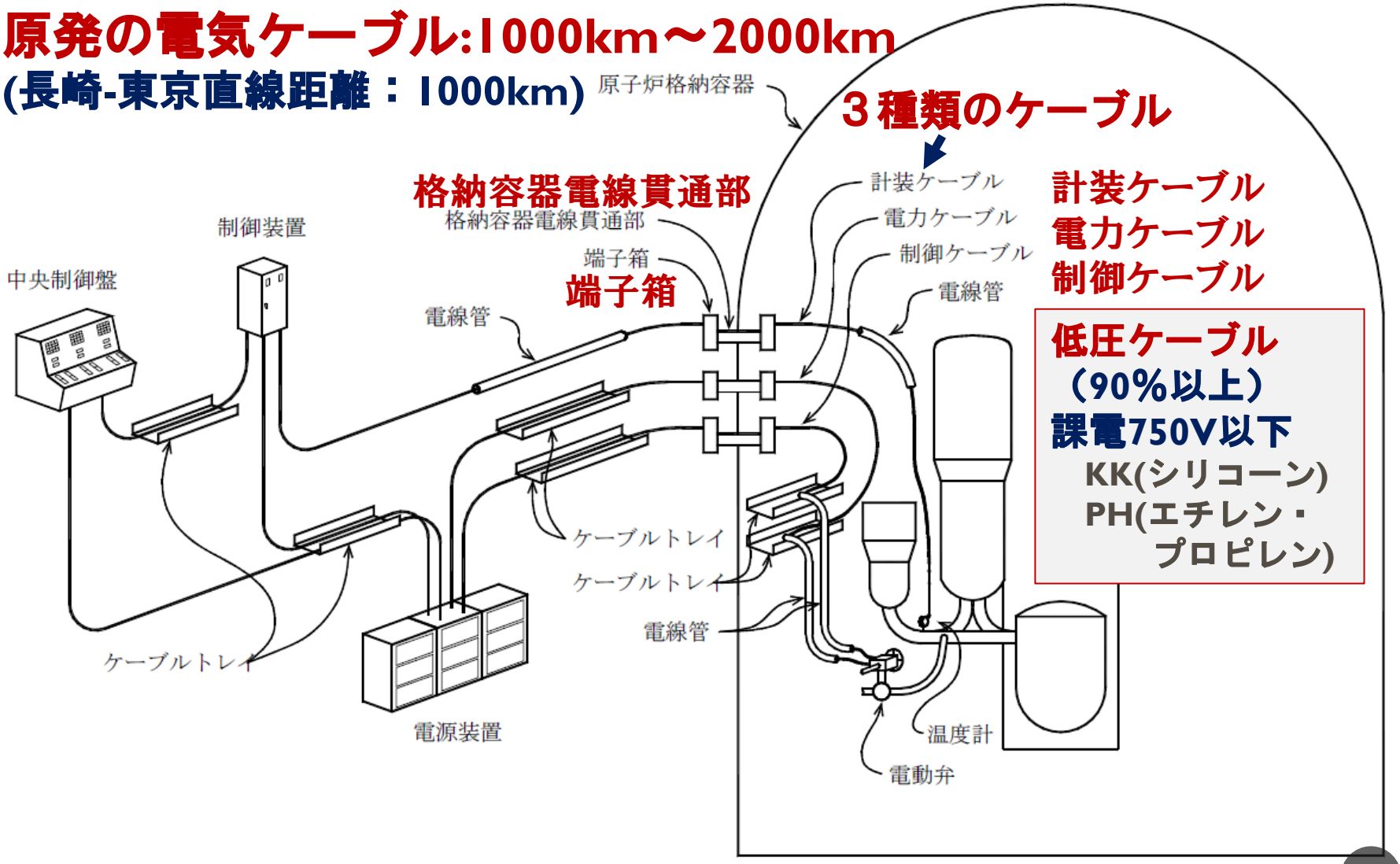
小山 英之
(美浜の会)

図 2.1-1 原子力プラントの主なケーブルの布設概念図（PWR 型原子力発電所の例）

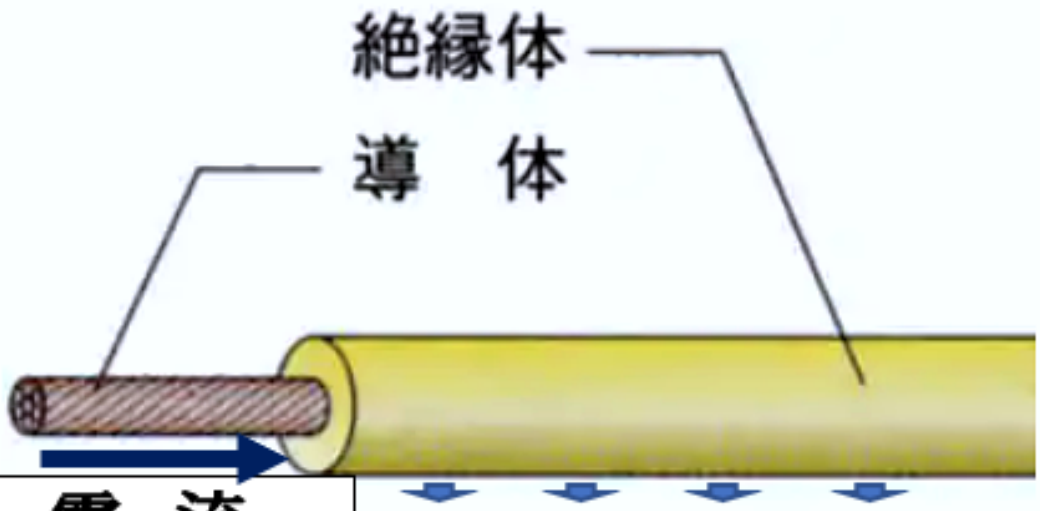
（JNES ACA、 p .2）

**原発の電気ケーブル:1000km～2000km**

**(長崎-東京直線距離：1000km)**



# 絶縁抵抗はケーブル長さに反比例する




**電　流**

電気抵抗は
長さに比例

**漏れ電流**

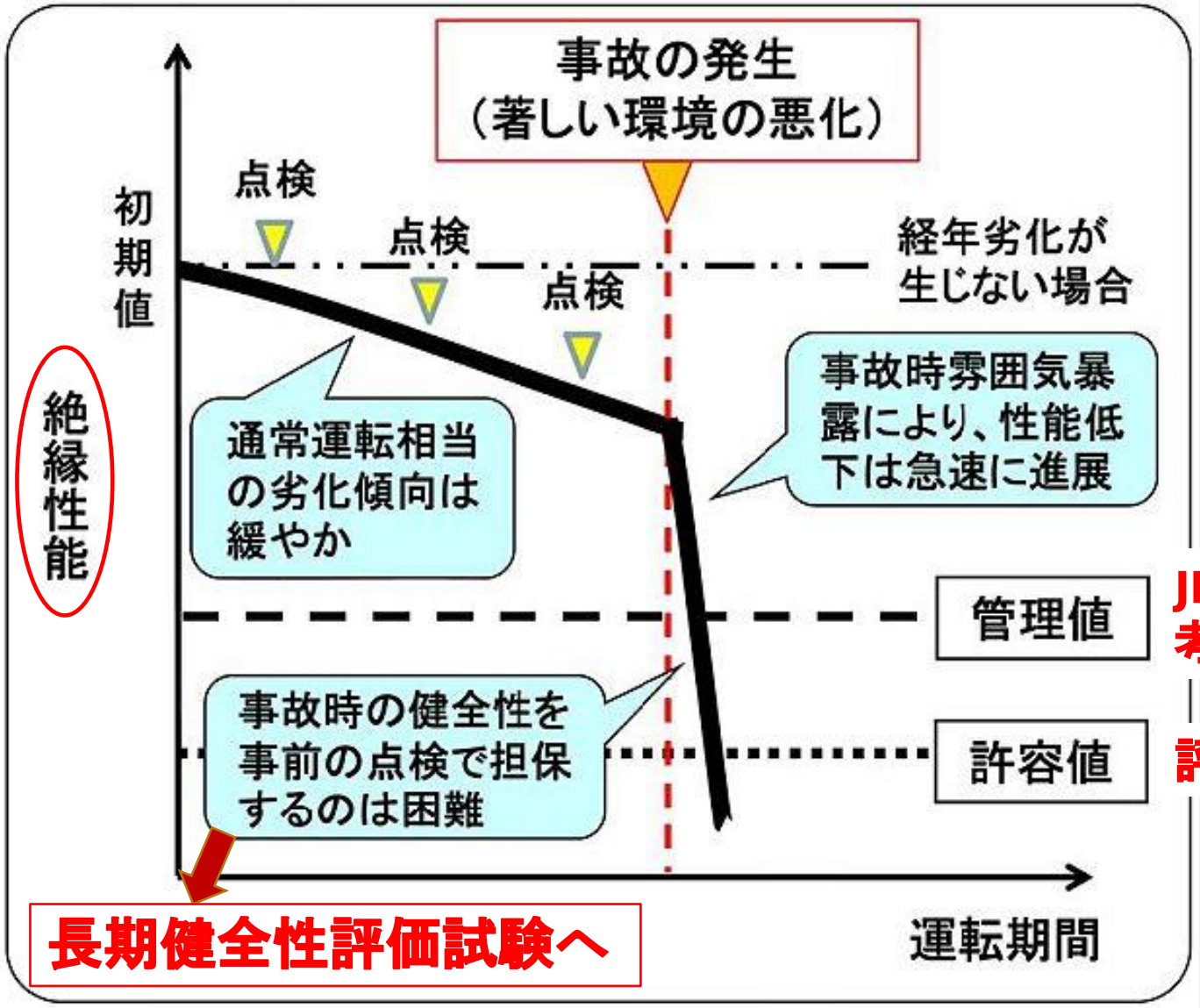
**絶縁抵抗**は
長さに反比例

オームの法則

**抵抗**(Ω)　＝　**電圧**(V) / **電流**(A)

漏れ電流は長さに比例して増える

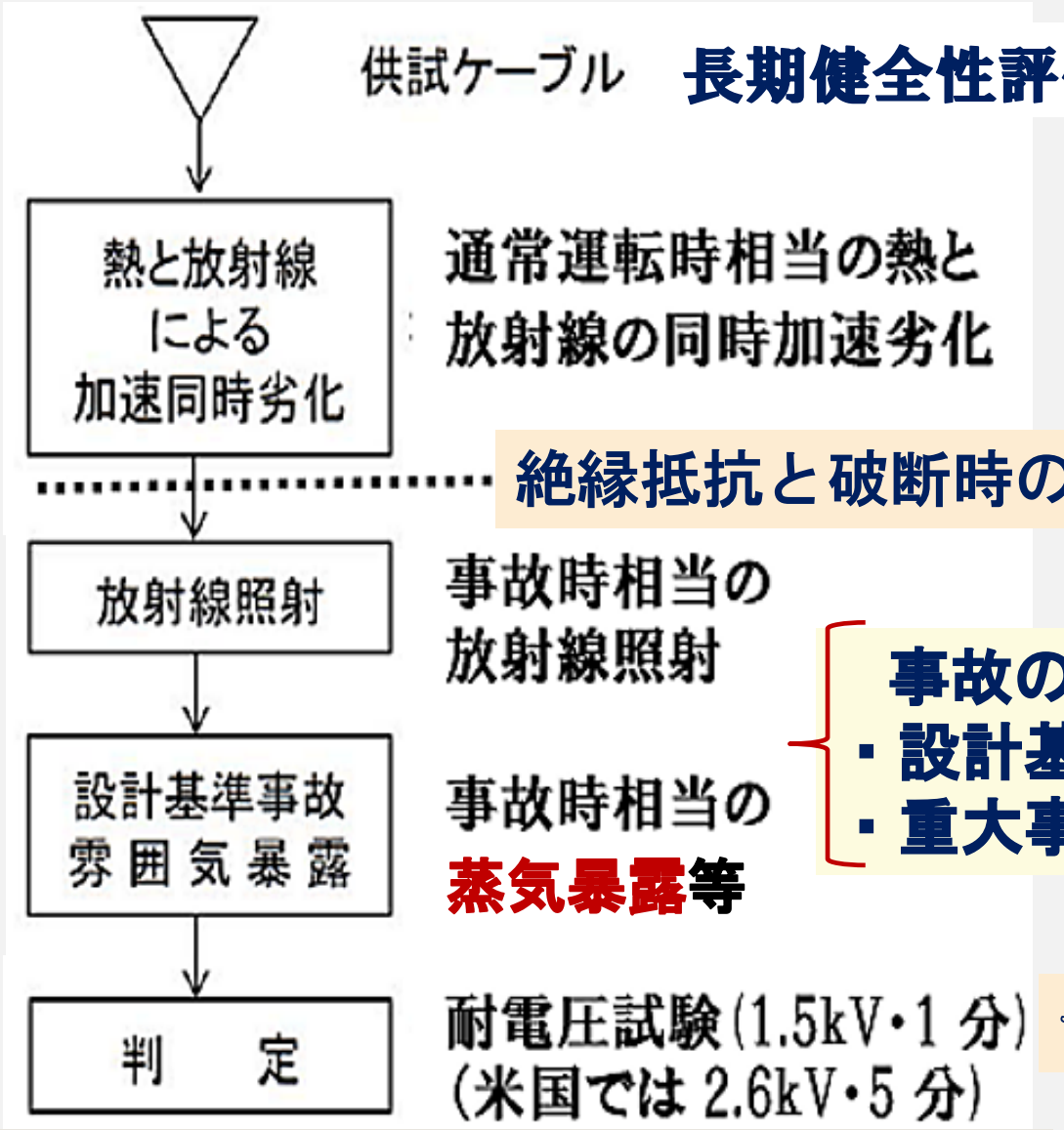
【評価例】: 低圧ケーブル　（関電の説明図）




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



# 話の筋

## ◆運転期間延長認可と申請

高浜1・2号：2016.6.20 認可； 美浜３号：2016.11.16 認可
川内1・2号：2022.10.12 60年期間延長申請
高浜3・4号：2023.4.25 60年期間延長申請

## Ⅰ.認可された内容：JNES報告に基づく

2009.7JNES 最終報告・SSレポート(ACA)に基づく。
（JNES(原子力安全基盤機構)は 2014.3.1に規制庁と統合）

### ★２つの指標

運転可能期間は「破断時の伸び」により判断
他方、期間延長審査基準は「絶縁抵抗値」。

## Ⅱ.他方、2019.11にNRA(原子力規制委員会)技術報告

上記JNESの方法を批判するような結果

## ⇒(結論) 2016年の認可は審査しなおすべきでは？

# Ⅰ．JNESによる試験結果

## 通常運転中を模擬する加速試験の条件と破断時の伸び

C社シリコーンゴム絶縁ケーブル[難燃KK-1.25]

（ JNES・SSレポート(ACA) より）

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% | |

供試体番号　長さ３m　　100℃　約100Gy/h　　ほぼ同じ時間　　破断時の伸び (初期値：420%)

# 絶縁抵抗値：蒸気暴露の前と後及び最中の最小値

JNES　SSレポート(ACA)　表2.4.2-43より白芯部分抜粋
C社シリコーンゴム(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 | $1.2\times10^{12}(3.6\times10^{3})$ | $2.2\times10^{12}(6.6\times10^{3})$ | 0.02mA |
| M-B-92 | $2.0\times10^{12}(6.0\times10^{3})$ | $1.2\times10^{12}(3.6\times10^{3})$ | 0.03mA |
| M-B-93 | $1.2\times10^{13}(3.6\times10^{4})$ | $2.0\times10^{12}(6.0\times10^{3})$ | 0.03mA |
| M-B-94 | $3.2\times10^{6}(9.6\times10^{3})$ | $1.4\times10^{6}(4.2\times10^{3})$ | 0.04mA |
| M-B-95 | $3.2\times10^{6}(9.6\times10^{3})$ | $6.5\times10^{5}(2.0\times10^{3})$ | 0.04mA |
| M-B-96 | $1.4\times10^{7}(4.2\times10^{4})$ | $2.0\times10^{6}(6.0\times10^{3})$ | 0.05mA |

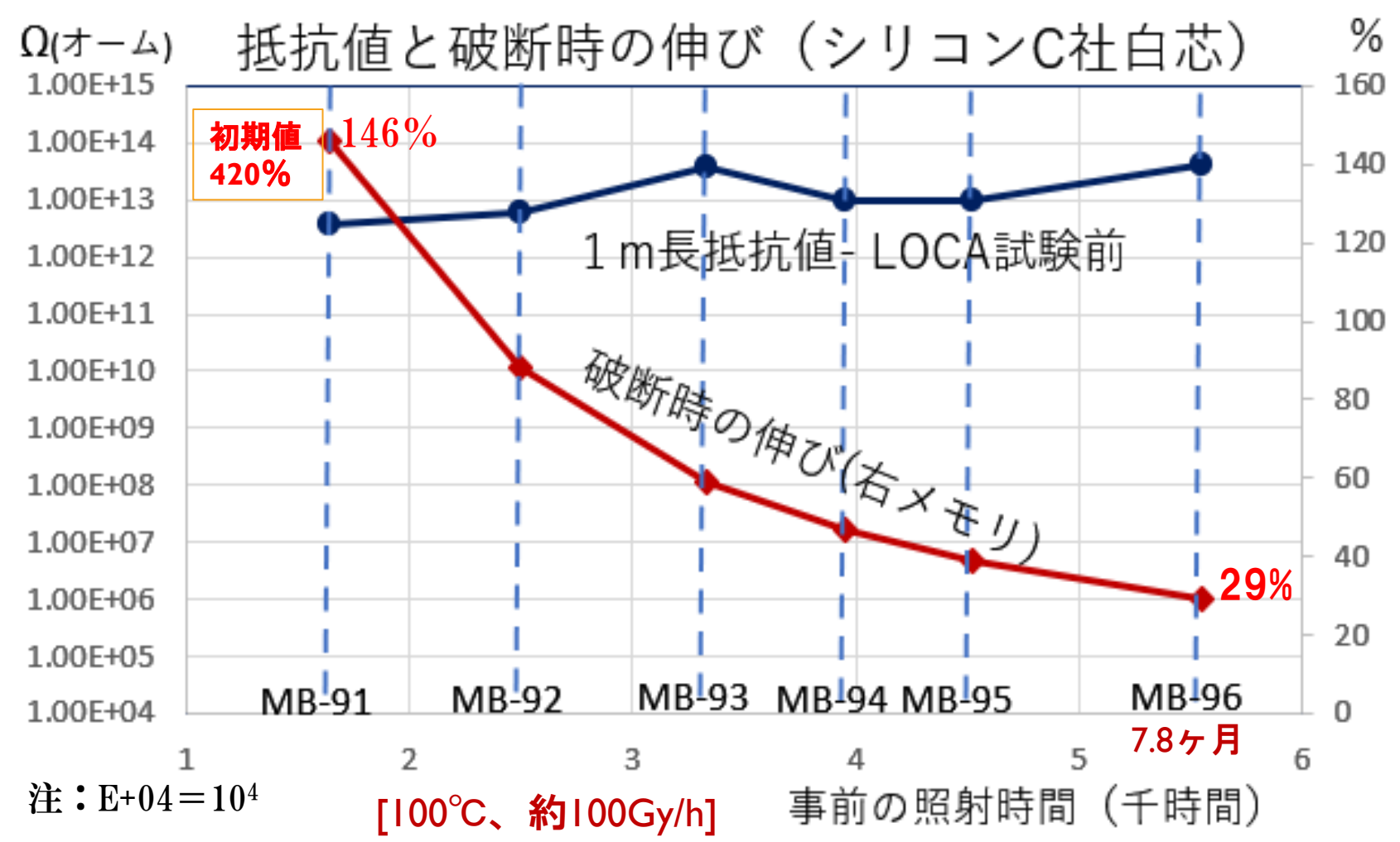
3m供試体値　1km換算値

1km換算値＝(3/1000)×３m供試体値
例：$(3/1000)\times1.4\times10^{7}=4.2\times10^{4}$

**上部３行の供試体値は、ΩとMΩ=$10^{6}$Ωの誤記によるミスだった**
**：名古屋地裁で国が認めた。**

**蒸気暴露中の絶縁抵抗計算**
低圧ケーブルの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**

# 事故前の通常運転中の劣化




◆破断時の伸びは通常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、絶縁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・判断指標

**◆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」。

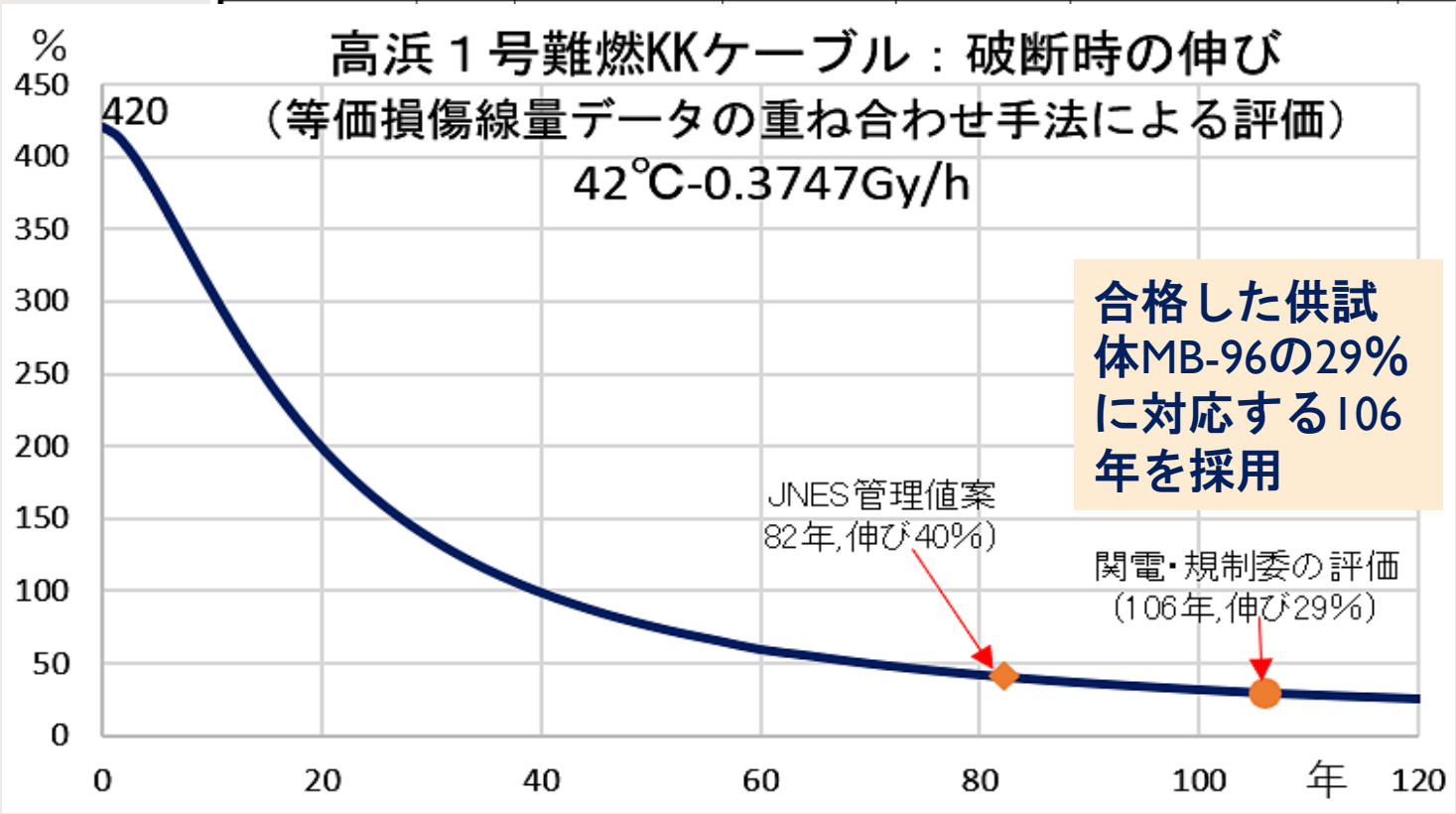
★このように、電気ケーブルの絶縁体の劣化には事実上２つの指標、「絶縁性能（審査基準）」と「破断時の伸び」が存在する。**関電は破断時の伸びが29％まで運転可能と判断。**

# 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

＊2　等価損傷線量データの重ね合わせ手法により評価

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[℃] | 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 |



# JNESは管理値案を提案したが
# 実際は無視されている

表 5-3 劣化指標管理値案

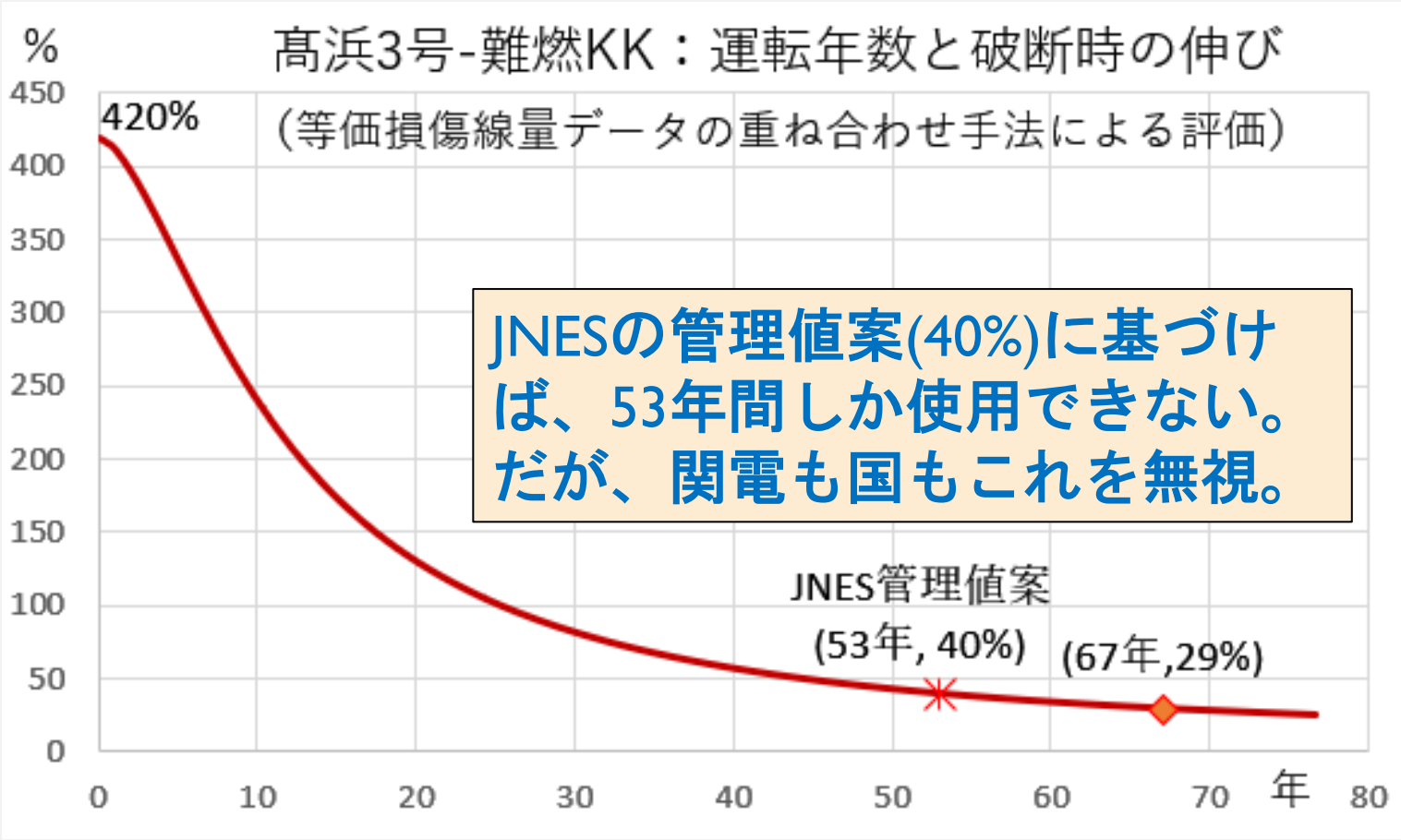
| 対象ケーブル | 劣化指標管理値案<br>(破断時の伸び) | 備　　考 |
|---|---|---|
| C 社シリコーンゴム<br>絶縁ケーブル | 40% | 29%でその後の LOCA に耐えられることを確認 |

JNES・SSレポート（ACA）より

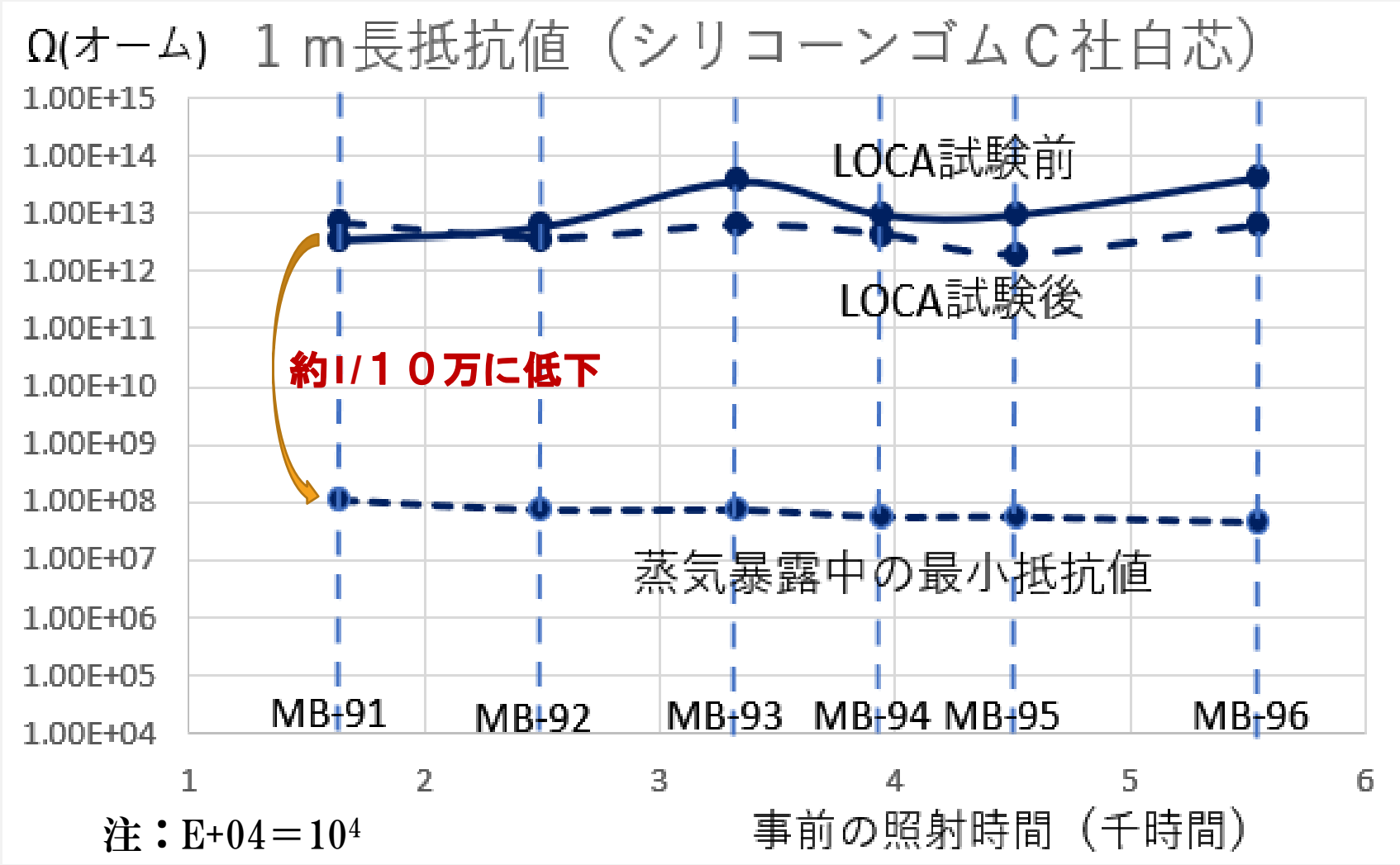
# 高浜３号の評価期間と管理値案（2023.4.25）

表2.3-9　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 | 備考*5,6 | 更新を踏まえた評価期間[年] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 温度[℃] | 放射線量率[Gy/h] | | | | |
| ループ室 | 38 | 0.7113 | 難燃 KK ケーブル | 67*2 | | — |



# 事故の影響　絶縁抵抗値：事故の前と後及び最中の最小値




◆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？

# Ⅱ. NRA(原子力規制委員会)による試験結果(2019)

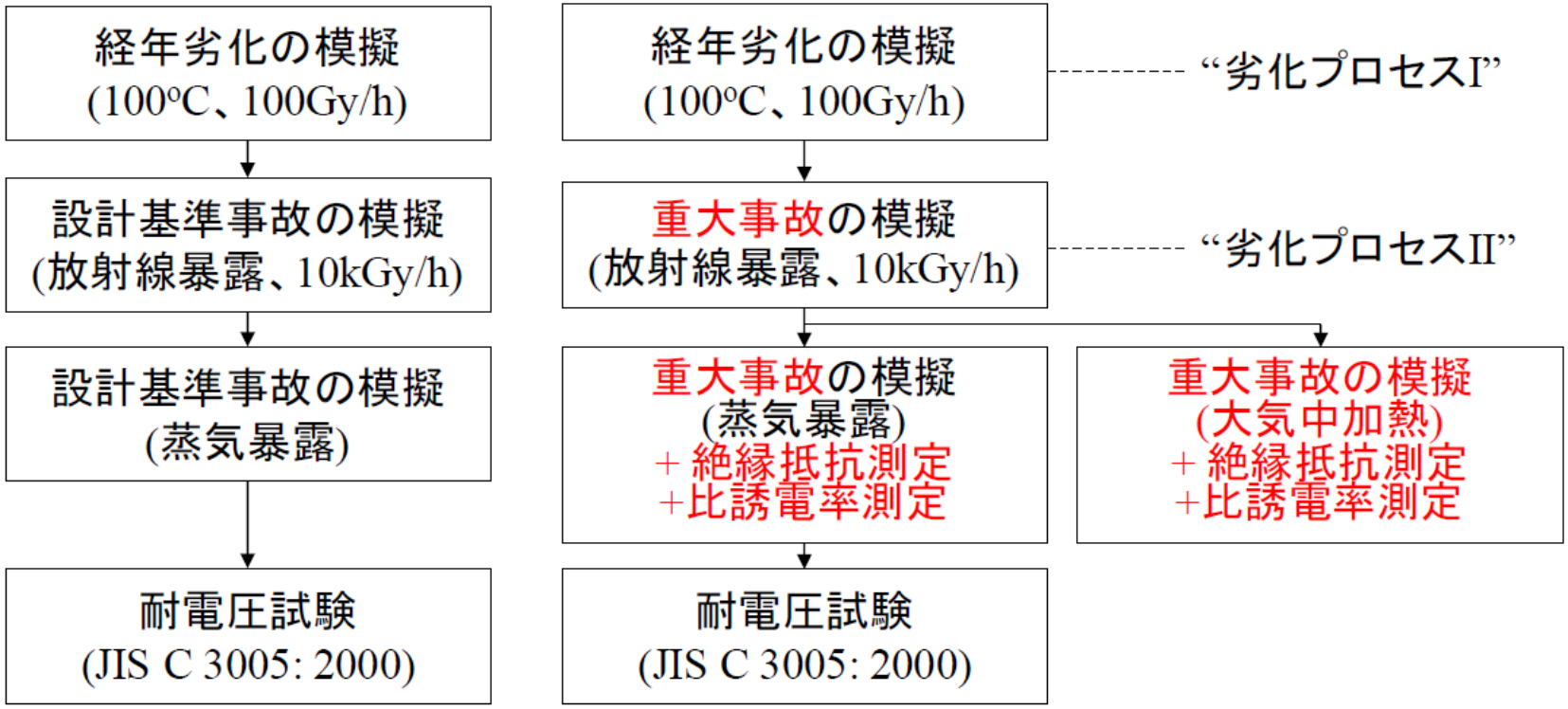
## 技術報告(p.4)における問題提起

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

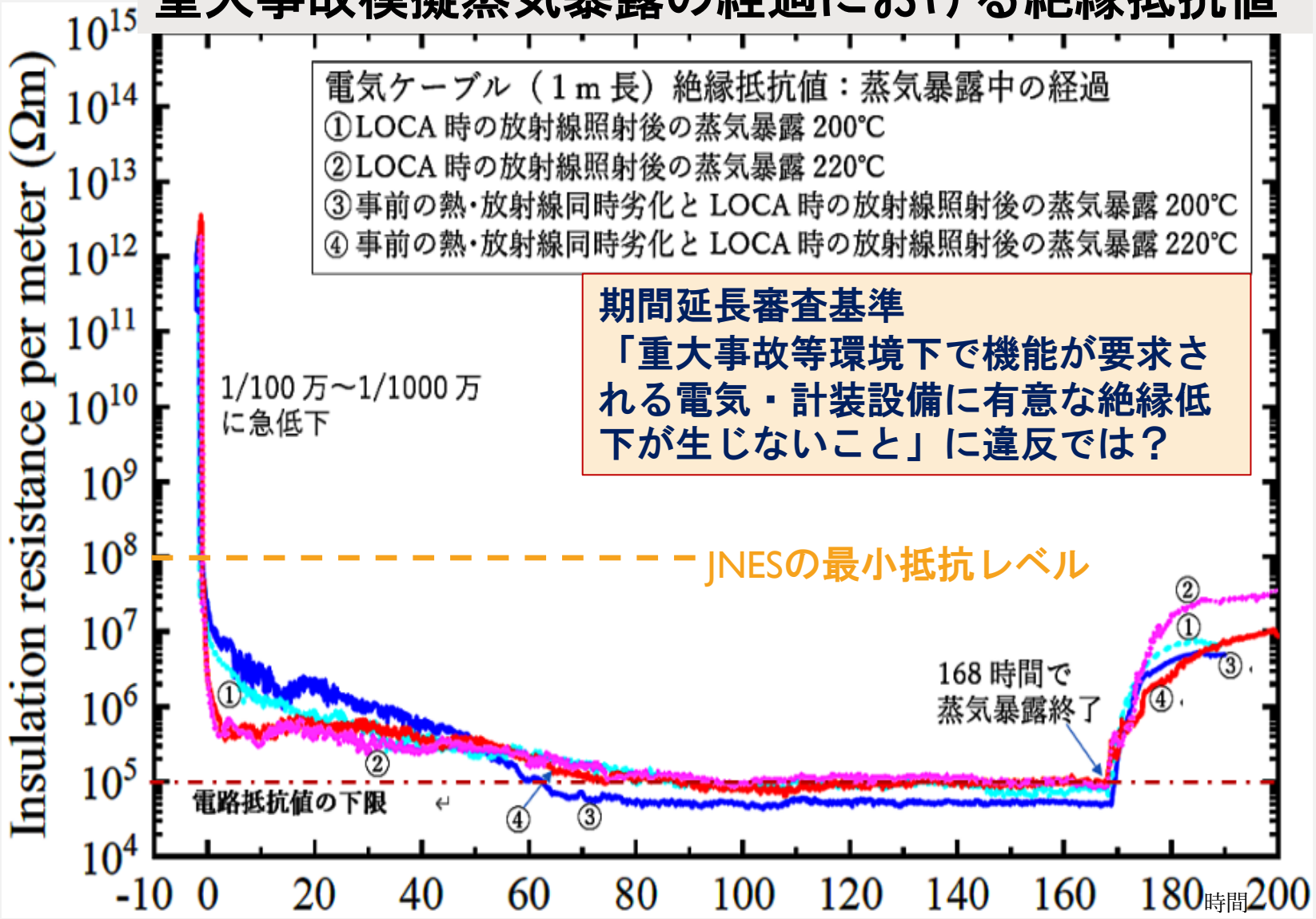



(a) JNESガイド[22]　(b) 本研究の試験手順

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：168 時間（1 週間）の蒸気暴露中及び終了後の絶縁抵抗（ケーブル長1 m当たり）の経時変化

# 問題点・疑問点Ⅰ．JNES関係

１(絶縁抵抗は劣化の指標になるか？)．運転期間延長の審査基準では「有意な絶縁低下が生じないこと」を判断の指標としている。現在進行中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(破断時の伸びと審査基準の関係は？)．関電は、最終試験合格のうち最も劣化した供試体を選び、その破断時の伸びに対応する年数をJNESの方法で計算した結果(評価期間)だけ運転可能と判断している。その判断と運転期間延長審査基準（絶縁抵抗で判断）とはどういう関係にあるのか明らかでない。

３(管理値の問題)．名古屋地裁・国第28準備書面17頁では、「参加人は、有意な絶縁低下と判断される絶縁抵抗値(許容値)以上の一定の値を管理値として設定し」と述べているが、参加人(関電)が絶縁抵抗値を管理値として選んだ具体的な記述は見当たらない。
　JNESはたとえばM-B-96の場合、許容値を破断時の伸び29％（それに対応する106年）とし、それに余裕を見込んだ40％を暫定的な管理値案としている。しかし関電も国もそれを無視している。

# 問題点・疑問点Ⅱ．NRA関係

１(NRA報告の意義)．運転期間延長の申請内容がJNESの最終報告に基づくことは、関電の当該書類に明記されている。その事故時の条件が基本的に設計基準事故を参考にしたものであって重大事故の考慮が不十分であること、及び蒸気暴露中の抵抗値の測定がなされていないことを、NRA技術報告では主に批判している。それゆえ、**高浜１・２号等の延長審査はやり直すべき**である。

２(有意な絶縁低下)．NRA報告では、試験開始直後に急速な絶縁低下が起こり、さらに電路の技術基準を割り込んでいる。これは**「有意な絶縁低下」であり、運転期間延長の審査基準を満たしていない。**

３(蒸気暴露中の課電)．NRAの蒸気暴露試験では計装ケーブルを扱っていることから課電を100Ｖにしているが、JNES試験と同様に低圧ケーブルで750Ｖ課電にした試験も行うべきである。

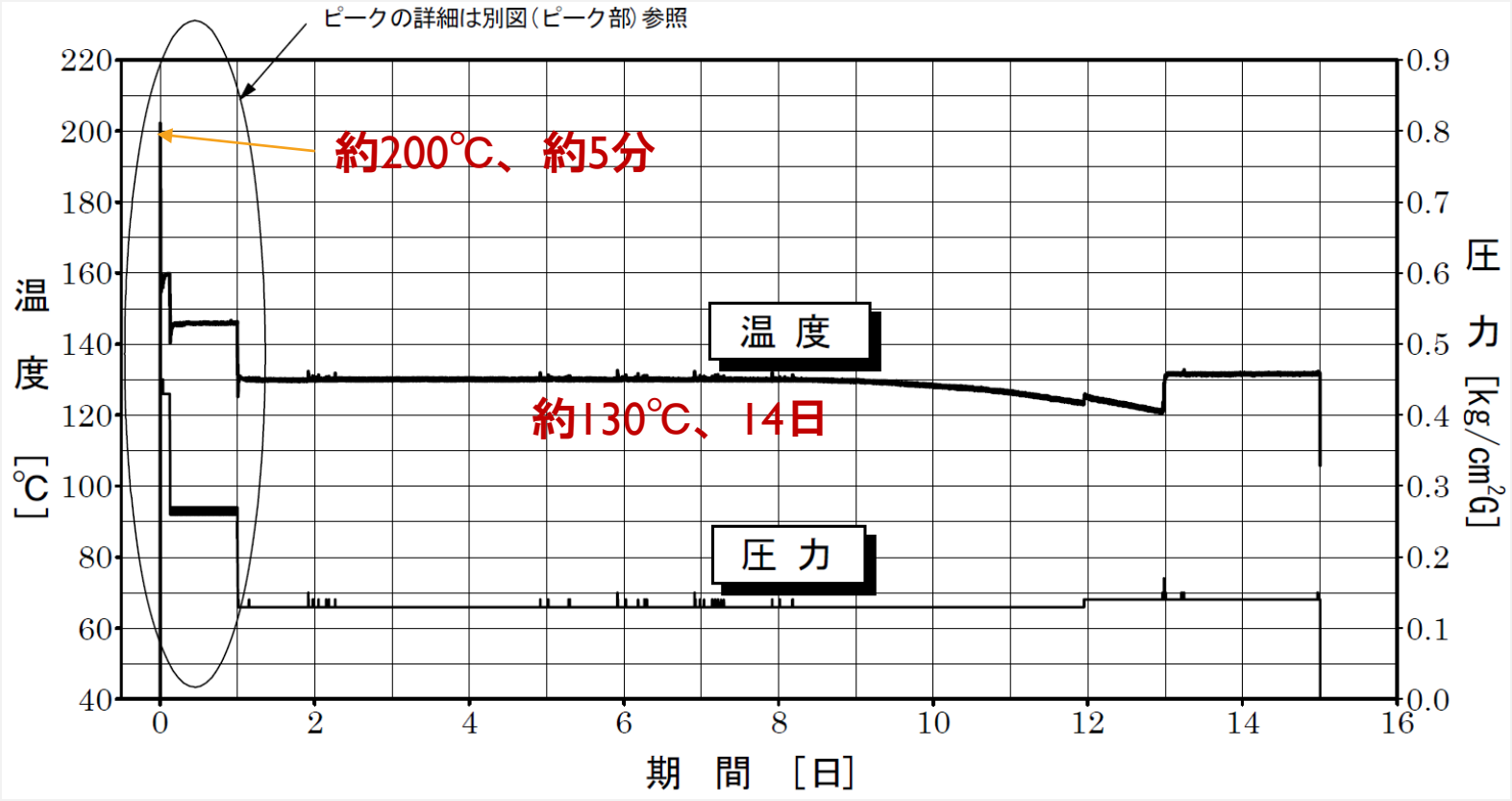
４(JIS課電試験)．JIS課電試験は、蒸気暴露終了後の絶縁抵抗が回復した後に行われている。重大事故中・蒸気暴露中に行うべきだ。

# 補足１　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。」

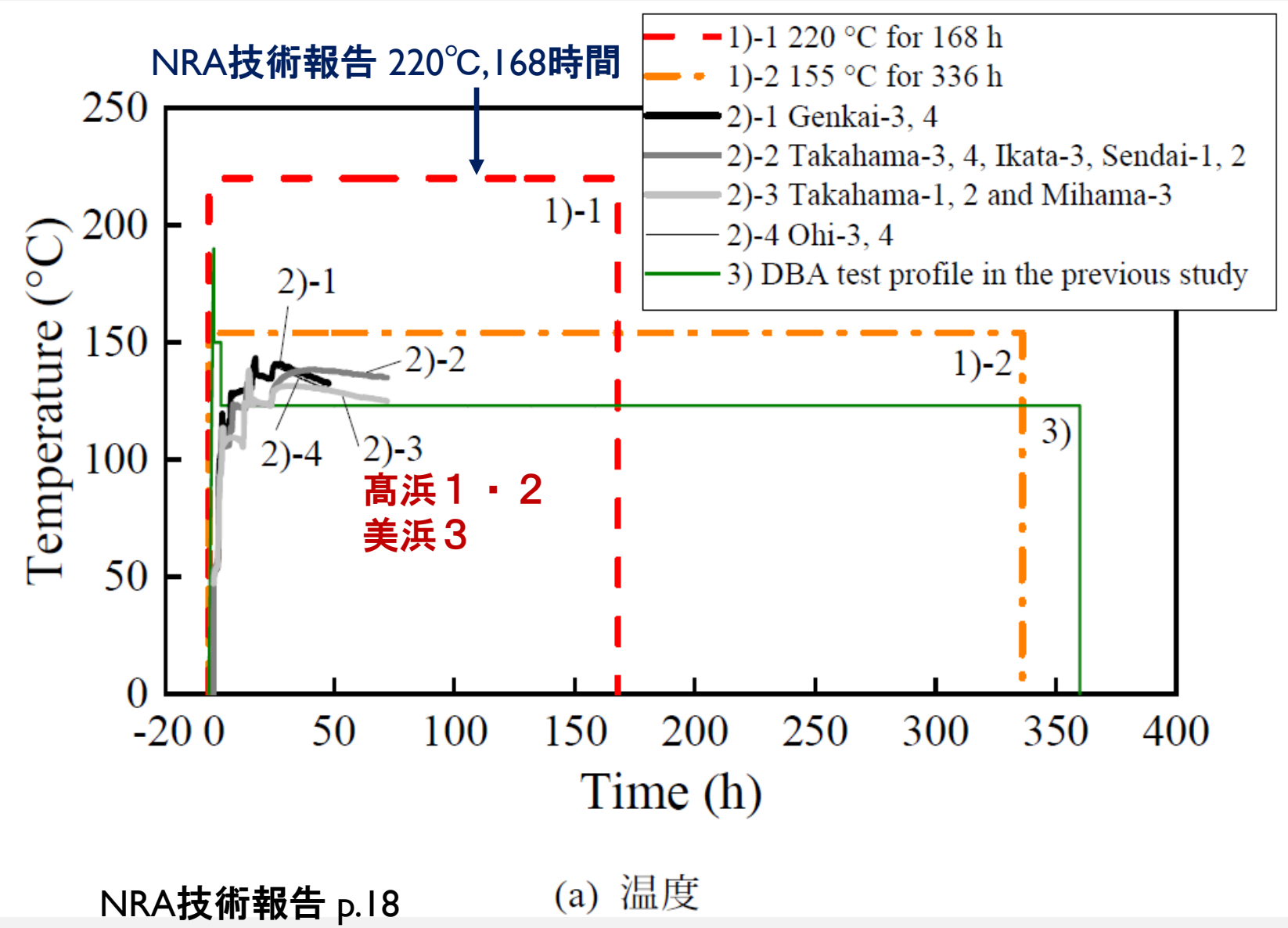
2015年12月10日　原子力規制委員会　資料1-5

「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２-１　NRAの蒸気暴露-温度条件



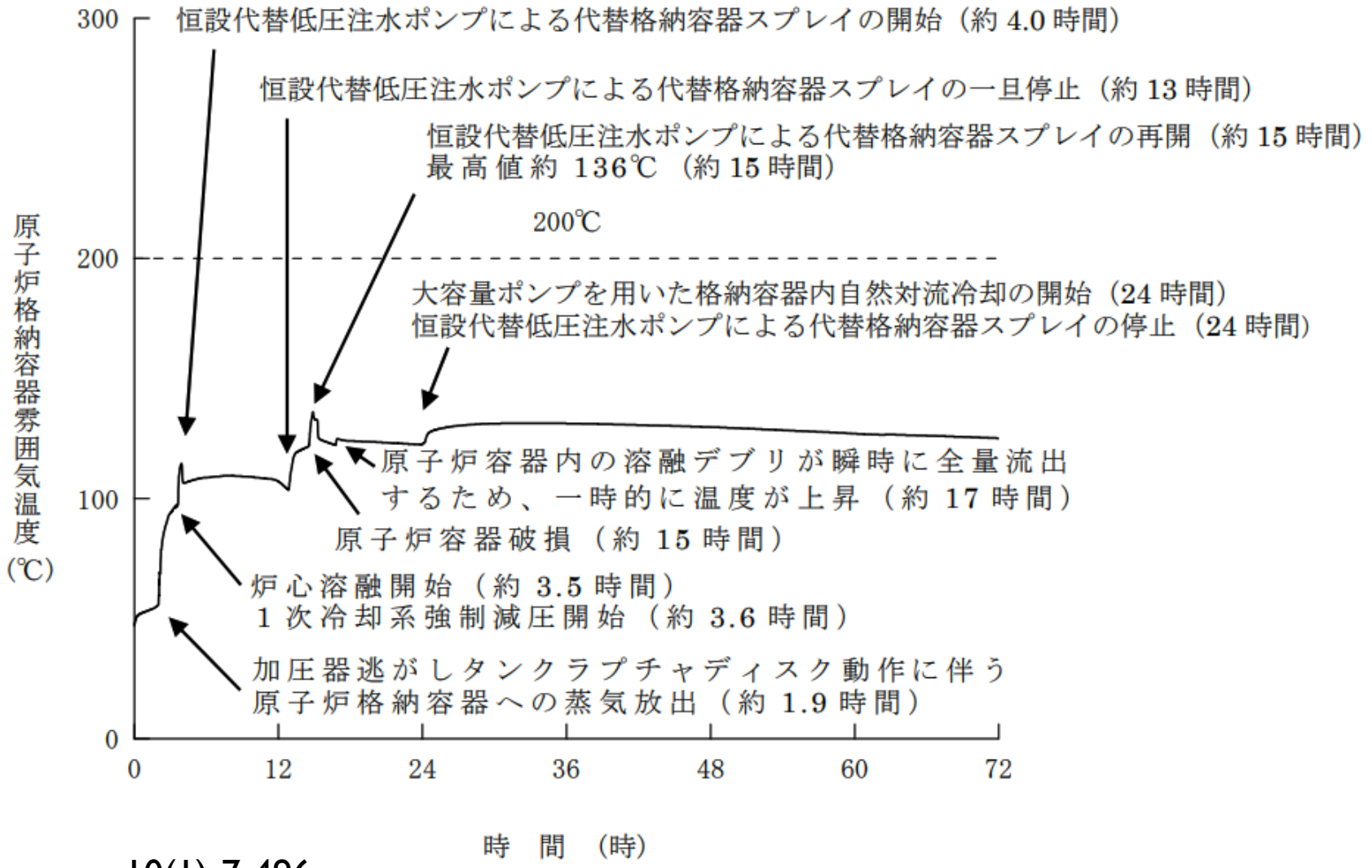

(a) 温度

NRA技術報告 p.18

図2.6 重大事故模擬試験の温度及び圧力条件(PWR 用ケーブル)[21,45-51]

# 補足２-2

## 高浜１号設置変更許可申請書添付10　重大事故時の温度




p.10(1)-7-496

第 7.2.1.2.9 図　原子炉格納容器雰囲気温度の推移

# 補足3. 電路の絶縁抵抗が満たすべき技術基準

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、１m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。**

# 補足４　検討中の高経年化に関する６つの物理的劣化事象

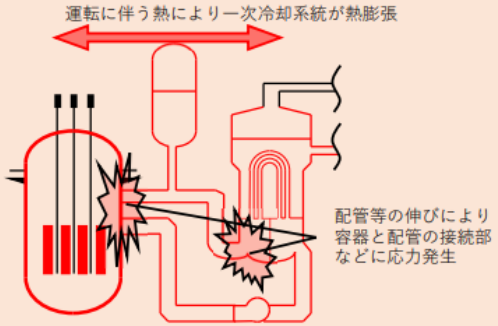
（運転開始から長期間経過した発電用原子炉の安全性を 確保するための規制制度の全体像について 令和５年４月１３日 原子力規制庁ｐ.6）

## 「絶縁低下」の指標で判断できるのか？

### 運転に伴い劣化が進展するもの

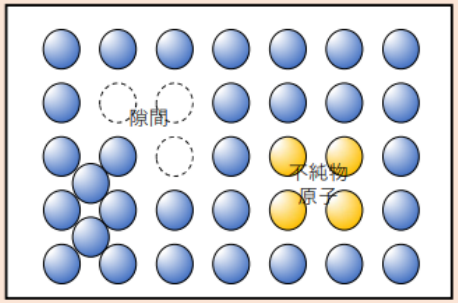
#### ① 低サイクル疲労

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。



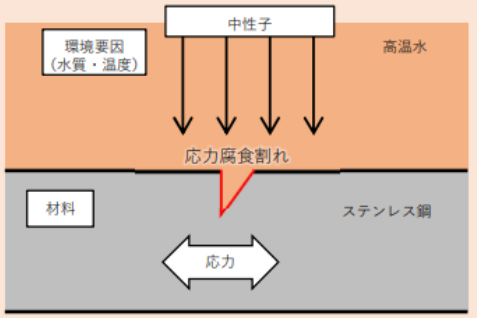

#### ② 原子炉容器の中性子照射脆化

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（靭性）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。

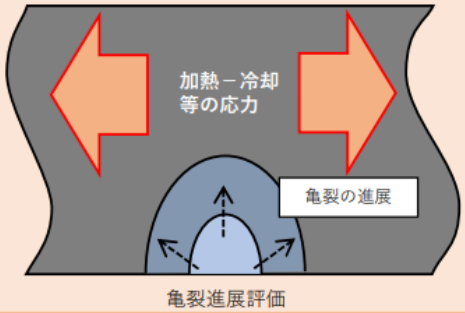



### 停止中でも進展するもの

**絶縁低下**

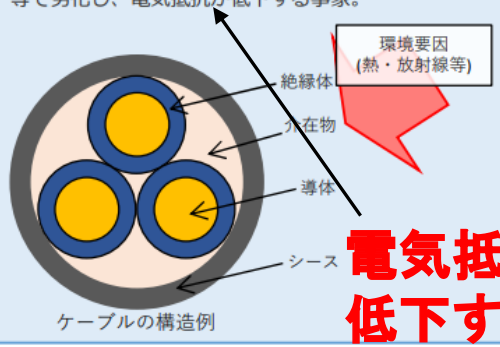
#### ④ 2相ステンレス鋼の熱時効

ステンレス鋳鋼が高温での長期使用に伴い、靭性の低下を起こす事象。




#### ⑤ 電気・計装設備の絶縁低下

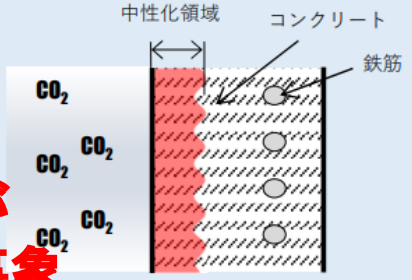
電気・計装設備に使用されている絶縁物が環境要因等で劣化し、電気抵抗が低下する事象。




**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。



# 基本文献

◆JNES最終報告
原子力安全基盤機構、“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.
http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10207746/www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000013215.pdf

◆NRA**技術報告**　　NTEC-2019-1002
**重大事故環境下におけるケーブルの絶縁特性の分析**
皆川 武史、池田 雅昭、田口 清貴　**システム安全研究部門**
原子力規制庁　**長官官房技術基盤グループ**
https://www.nra.go.jp/data/000290767.pdf