

令和元年11月20日
長官官房 技術基盤グループ システム安全研究部門

重大事故環境下におけるケーブルの絶縁特性評価について(案)

1. 知見の概要

原子力発電所の重大事故等対処設備は、重大事故が発生した場合における使用条件において、重大事故等に対処するために必要な機能を有効に発揮するものであることが求められる^[1]。

電気事業者は、重大事故等対処設備として位置づけられるケーブルの重大事故時の健全性評価を電気学会推奨案^[2]に基づき行っている。具体的には、運転期間相当の経年劣化を加速劣化で付与したケーブルを、事故を模擬する放射線及び高温蒸気下に暴露した後、室温で行う耐電圧試験の結果に基づき、重大事故時の絶縁性能を評価している(図 1(a)参照)。

今般、規制庁の安全研究プロジェクト^{*1}において、ケーブルの重大事故時の健全性評価手法の高度化を図ることを目的として、試験研究を行った。本研究では、国内の原子力発電所で重大事故環境下において機能要求のある代表的なケーブルに対し、最新のケーブル健全性評価試験手法である JNES ガイド^[3](図 1(b)参照)に示された手法に基づき経年劣化を付与した上で、重大事故環境を模擬する試験を行った。また、重大事故を模擬する蒸気暴露中において、ケーブルの絶縁抵抗を測定した。得られた知見は以下のとおり。なお、これらの成果については、NRA 技術報告^[4]として公表している。

* 1: 「運転期間延長認可制度及び高経年化対策制度に係る技術的知見の整備に関する研究」(平成23～28年度)及び「電気・計装設備用高分子材料の長期健全性評価に係る研究」(平成29～31年度)

- (1) ケーブルの絶縁抵抗は、事前の経年劣化の付与の有無に関わらず、重大事故を模擬する蒸気暴露開始後に低下し、蒸気暴露中においては常温大気中と比較して低い値となることが確認された(参考参照)。このようなケーブルの絶縁抵抗の低下は、高温蒸気暴露による温度上昇及び蒸気による吸湿が要因とで考えられる。(図 2,3 参照)
- (2) 計装ケーブルの絶縁抵抗が低下すると、検出器の種類や回路構成等により、重大事故時に監視するパラメータの測定結果に含まれる誤差が大きくなる可能性がある。(図 4,5 参照)
- (3) (1)及び(2)から、ケーブルの重大事故時の健全性評価においては、現状の試験手法^[2,3]の試験項目に加え、蒸気暴露中にケーブルの絶縁抵抗を測定し、その測定結果を重大事故時におけるケーブルの要求性能と照らし合わせて評価を行うことが重要であると考えられる。

(参考:実プラントにおける計装設備への影響の試算例)

PWR プラントで重大事故等対処設備として使用されている難燃エチレンプロピレンジエンゴム絶縁ケーブルについては、電気事業者が想定している重大事故時の原子炉格納容器内の最高温度を包含する 155°Cの蒸気暴露中において、ケーブル長さ 1m 当たりの絶縁抵抗は $10^8 \Omega\text{m}$ 程度まで低下することが確認された(図 2 参照)。ケーブルの絶縁抵抗は、ケーブルの長さに反比例するが、原子炉格納容器内のケーブル長さを仮に 100m と仮定すると、ケーブルの絶縁抵抗は $10^6 \Omega$ と計算される。この場合、図 4 及び 5 より、熱電対式温度計及び伝送器を使用した測定回路における測定誤差は小さいと考えられる。

2. 今後の対応

上記の規制庁研究では、重大事故等対処設備として位置づけられている代表的なケーブル単体について試験した結果、蒸気暴露環境において、絶縁抵抗が低下する傾向があることが分かった。しかしながら、実プラントにおけるケーブルの絶縁抵抗低下の挙動やそれが計装機器の測定結果に与える影響については、各プラントにおける重大事故時の原子炉格納容器内の温度等の環境条件、検出器の種類、配置、ケーブル布設状況等により異なると考えられる。このため、実プラントの状況を踏まえたケーブルの絶縁抵抗低下による重大事故対策に与える影響について、電気事業者を確認する必要があると考える。

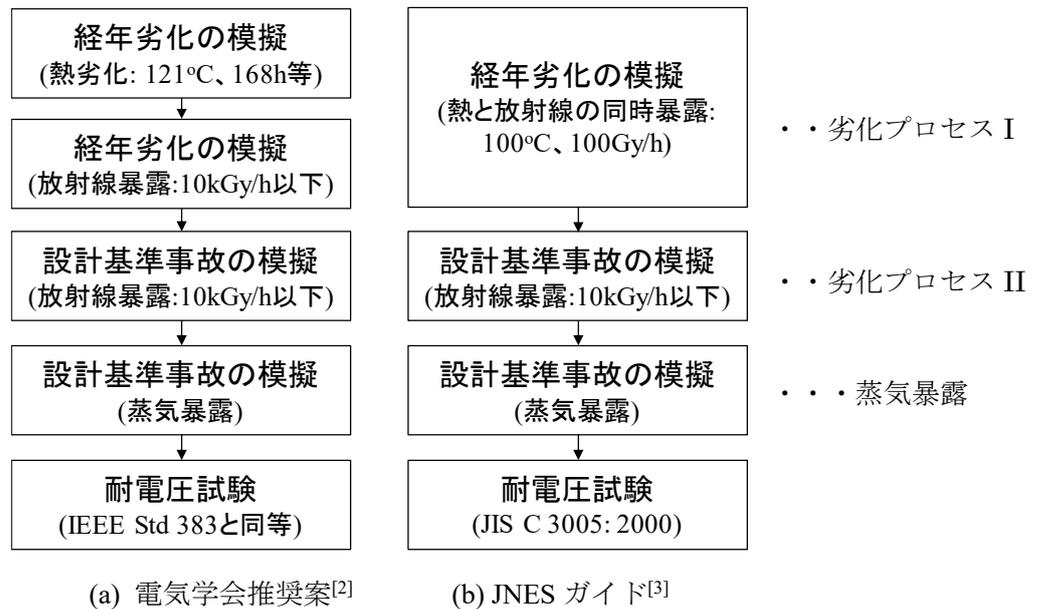


図 1 電気学会推奨案と JNES ガイドの試験手順

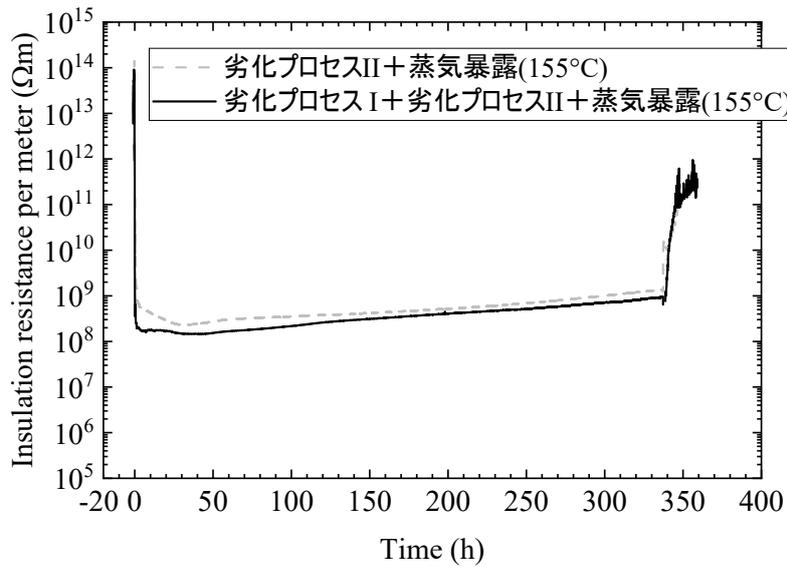


図2 国内のPWRで用いられている難燃エチレンプロピレンジエンゴム絶縁ケーブルの蒸気暴露中のケーブル長さ1m当たりの絶縁抵抗の変化^[4]

注) 劣化プロセス I: 100°Cにおいて⁶⁰Coのγ線を100Gy/hで4003h照射し、熱と放射線による経年劣化を模擬
劣化プロセス II: ⁶⁰Coのγ線を10kGy/hで100h照射し(照射線量1000kGy)、重大事故時の放射線劣化を模擬

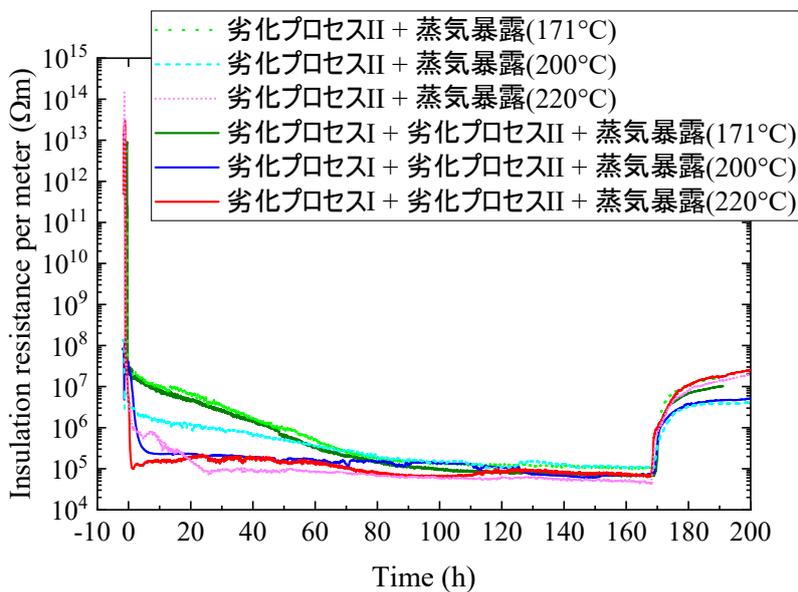


図3 国内のBWRで用いられている難燃エチレンプロピレンジエンゴム絶縁ケーブルの蒸気暴露中のケーブル長さ1m当たりの絶縁抵抗の変化^[4]

注) 劣化プロセス I: 100°Cにおいて⁶⁰Coのγ線を100Gy/hで6990h照射し、熱と放射線による経年劣化を模擬
劣化プロセス II: ⁶⁰Coのγ線を10kGy/hで80h照射し(照射線量800kGy)、重大事故時の放射線劣化を模擬

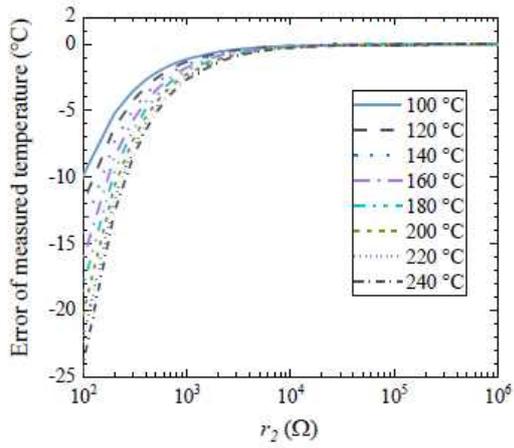


図4 熱電対回路の絶縁抵抗と測定温度の誤差の関係^[4]

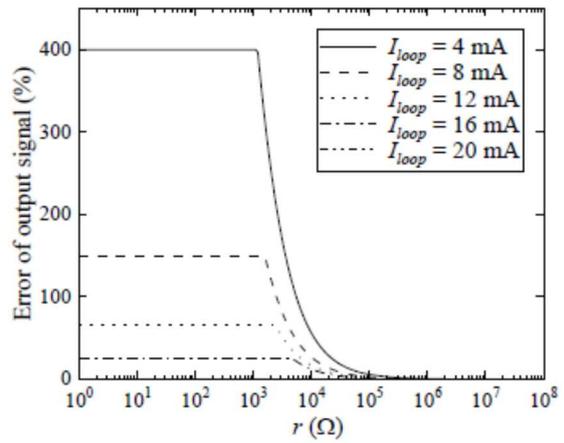


図5 伝送回路の絶縁抵抗と出力信号の誤差の関係^[4]

参考文献

- [1] 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第43条第1項
- [2] 原子力発電所用電線・ケーブルの環境試験方法ならびに耐延焼性試験方法に関する推奨案、電気学会技術報告(II部)第139号
- [3] 原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド、JNES-RE-2013-2049
- [4] 重大事故環境下におけるケーブルの絶縁特性の分析、NTEC-2019-1002、原子力規制庁、2019年11月