708 火災時における原子力発電所用電気ケーブルの絶縁性および難燃性

Insulation properties and flame resistance of electrical cables for nuclear power plant in fire accidents

○学 水田馨(筑波大) 正 松田昭博(筑波大)
石橋隆(JNES) 土野進(JNES)

Kaoru MIZUTA, Graduate student, University of Tsukuba, 1-1-1, Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki

Akihiro MATSUDA, University of Tsukuba, 1-1-1, Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki

Takashi ISHIBASHI, Japan Nuclear Energy Safety Organization, 3-17-1, Toranomon, Minato-ku, Tokyo

Susumu TSUCHINO, Japan Nuclear Energy Safety Organization, 3-17-1, Toranomon, Minato-ku, Tokyo

The purpose of this study is to investigate insulation properties and flame resistance of electrical cables in fire. Insulation resistance of the cable is affected by the heat of a fire. Therefore, to ensure the safety of nuclear facilities in case of fire, it is necessary to clarify the combustion characteristics of electrical cables, construct damage prediction method.

In this paper, we conduct a combustion test on 3 type of electrical cable used in nuclear power plant.

From the test, we appraised insulation properties and combustion characteristics of each cable. Also shows a good correlation with insulation resistance and time by the Arrhenius plot.

Key Words: Electrical Cables, Nuclear Power Plant, Insulation Resistance

1. 緒言

原子力施設で火災事故が発生した場合、その施設内の制御や動力供給を担う電気ケーブルの絶縁性や難燃性は適切に保たれる必要がある。しかし、ケーブルの絶縁抵抗は、火災による熱によって影響を受ける。更に、温度が上昇し、ある温度を越えた場合は、電気ケーブル自体が燃焼し新たな火災源となる可能性がある(1)。そのため、原子力施設の火災時の安全性を確保するためには、電気ケーブルの燃焼特性を明らかにし、その被害を予測できる評価方法を構築する必要がある。

そこで、本研究は、電気ケーブルの絶縁性や難燃性への熱影響を予測できる方法の構築を目的とした。そのために、原子力施設で使用されている電気ケーブルを対象とし、火災を想定した試験を実施した。

2. 試験方法

トレーに敷設されたケーブルに対して、コーンカロリーヒーターで放射熱を最長で 120 分間与えた。その際の、ケーブルの温度、絶縁抵抗、および絶縁抵抗が短絡する時間を計測した。

図 1 の燃焼試験装置は、コーンカロリーヒーター試験装置を改良して開発した試験装置であり、ケーブルトレーに敷設したケーブルに対して試験を行うことができる。コーン型ヒーターは、直径 200mm であり、ヒーター単体で室温から 800℃ まで昇温可能である。本試験では、ケーブル中心部表面の温度をレーザー温度計で計測し、試験条件と一致するようヒーターを設定した。

絶縁抵抗の計測には、日置電機製の超絶縁計 SM-8215 を用いた。計測する際の電圧は 500V とした。

ケーブル試験片は、原子力発電所用動力・制御ケーブルである、SHCVV、FR-STP、CCSHV の 3 種類に対して試験を行った。同一ケーブル内の導線間の絶縁抵抗を計測した。8 芯のケーブルは 4 芯を 1 束とし、試験片の長さは 620mm とした。

図 2 に SHCVV の試験中の時間と絶縁抵抗の関係を示す。ケーブル温度 200℃ の時には短絡せず、絶縁抵抗が 120 分保たれた。しかし 220℃ から 460℃ の条件では、発火はしないものの、温度の高いものから順にいずれも 120 分以内に短絡した。さらに 550℃ では、自然発火し、その後、絶縁抵抗が損失した。同様に、FR-STP の時間と絶縁抵抗の関係を図 3 に、CCSHV の時間と絶縁抵抗の関係を図 4 に示す。すべてのケー

Fig.1 Combustion Test Machine

ブルにおいて、各温度の時間と絶縁抵抗の傾向は同一で、120 分絶縁抵抗が保たれる温度があり、温度を上昇させることによって徐々に短絡する時間が短くなった。ある温度になると、それ以上の温度では自然発火するようになり、発火後、絶縁抵抗が損失した。

図 5 に各ケーブルの短絡時間とケーブル温度の関係の結果を示す。横軸の短絡時間を対数表示としている。ここで、短絡時間とは、加熱開始から短絡するまでの時間からヒーター温度が目標の温度に達するまでの時間を引いたものである。なお、時間と絶縁抵抗の関係を以下の式で近似し、試験結果に重ねて実線で示している。

$$\theta_S = \theta_\infty + (\theta_b - \theta_\infty) \exp(-At) \quad (1)$$

ここで、 θ_s は時刻 t においてケーブルが短絡する温度を、 θ_∞ は絶縁抵抗が損失しない温度を、 θ_b はケーブルが自然発火する温度、もしくは即座に短絡する温度を、 A は材料定数を表す。近似曲線よりも下の領域では短絡することがなく、上の領域では、短絡、もしくは発火の可能性があることを示している。

図 6 に SHCVV の各抵抗値に達するまでの時間と温度の関係をアレニウスプロット(2)にて示す。縦軸に、10MΩ, 20MΩ, 短絡するまでの時間 T_R を対数でとり、横軸に、ケーブル温度 (K) の逆数をとっている。アレニウスプロットの近似直線の傾

きがどの結果においてもほぼ一致しており、ケーブルの絶縁特性が、アレニウスプロットによって整理可能であることがわかった。また、図より、以下の式が成り立つ。

$$t = \exp\left(\frac{a}{\theta}\right) \quad (2)$$

ここで、 a はアレニウスプロットにおける、近似直線の傾きである。図 6 において、それぞれの直線の傾きから、各温度における短絡時間、各抵抗値に達する時間を求めることができる。

図 7 に各ケーブルの安全温度と発火温度を示す。絶縁抵抗が損失しない温度を安全温度 θ_{∞} 、ケーブルが自然発火する温度を発火温度 θ_b としている。

4. 結言

本研究では、原子力発電所で仕様されるケーブル 3 種類を対象とした燃焼実験を行った。各ケーブルの絶縁性、難燃性を評価し、安全温度、発火温度を取得した。また、アレニウスプロットを用いることにより、絶縁抵抗と時間に関して、良好な相関を得た。

参考文献

- (1) 森孝太, 松田昭博, 火災力学シミュレータを用いた核燃料加工施設内電気ケーブルの火災時安全性評価, 2011
- (2) Edward L. King, HOW CHEMICAL REACTIONS OCCUR, 1963

Fig.2 Insulation Resistance of SHCVV

Fig.3 Insulation Resistance of FR-STP

Fig.4 Insulation Resistance of CSHV

Fig.5 Approximation of Short Circuit Time

Fig.6 Arrhenius Plot Regarding T_R

Fig.7 Temperature $\theta_b, \theta_{\infty}$ of Electrical Cables