

ケーブル状態監視技術の調査研究

Study on condition monitoring techniques for low voltage electrical cables

(株)原子力エンジニアリング 平尾 秀男 Hideo HIRAO Cooperate Member
(株)原子力エンジニアリング 坂井 毅 Takeshi SAKAI Cooperate Member
(株)原子力安全システム研究所 梶村 雄作 Yuusaku KAJIMURA Cooperate Member

Low voltage electrical cables installed in nuclear power plants are required to function even in a design based accident environment. Needs for the condition monitoring technique for low voltage electrical cables has become greater as nuclear power plants operate longer. One perfect method for this purpose is not available yet, but the possibility to use two different methods which are mutually complementary has been examined. The combination of Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) and Indenter Modulus (IM) method was found useful.

Keywords: Electrical cable, ageing management, condition monitoring, FT-IR, Indenter

1. 緒言

原子力プラントの長期運転における低圧電力及び制御計装用の低圧ケーブルの経年劣化管理では、設計想定事故環境での機能維持が重視されていることから、長期運転期間中もケーブルが機能を維持することを担保するための状態監視の重要度が増している。

一方、ケーブル絶縁材の状態監視技術については、これまでに数多くの手法が検討され実機ケーブルへの適用が試みられてきたが、これまでのところ確実に有効な手法が確立されたという報告はなく、経年劣化管理上の課題となっている。

本調査研究では、ケーブル絶縁材の劣化程度を定量的に状態監視できる手法を構築するために種々の状態監視技術の長所と課題を整理し、実機プラントにおいて現場測定が可能と考えられる手法として次の2つを抽出した。

- ・フーリエ変換赤外分光法 (FT-IR)
- ・インデントモジュラス法 (IM)

以下では、国内の原子力プラントで用いられている各種絶縁材料の劣化に対する上記手法の適用性を評価するとともに、状態監視技術としての実機適用性を考察した。

2. ケーブル絶縁材の測定試験

2.1 測定対象及び測定方法

「原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究 (ACA)」^[1] で作成された加速劣化ケーブルサンプルを用いて、フーリエ変換赤外分光法 (FT-IR) 及びインデントモジュラス法 (IM) の測定値と破断伸び (EAB : Elongation at Breakage) との比較を行った。測定したケーブル絶縁材を Table 1 に示す。

Table 1 Cable insulation materials

Insulation Material	Manufacturer
Cross-linked Polyethylene (XLPE)	A, B
Flame Retardant XLPE (FR-XLPE)	A, B
Ethylene Propylene Rubber (EPR)	C
Flame Retardant EPR (FR-EPR)	B, C
Silicone Rubber (SiR)	C
Special Heat resistant Poly Vinyl Chloride (SHPVC)	A, B

2.2 フーリエ変換赤外分光法 (FT-IR)

フーリエ変換赤外分光法 (FT-IR) は、赤外線をサンプルに入射し、サンプル内を通過した赤外線の吸収スペクトルを測定するものである。最近では、現場に持ち込んで測定可能な携帯型の機器が開発され市販されている。

連絡先: 平尾 秀男、〒550-0001 大阪市西区土佐堀 1-3-7、
(株)原子力エンジニアリング プラントサービス本部、
E-mail: hhirao@neltcd.co.jp

測定に用いた携帯型 FT-IR 測定器の外観を Fig.1 に示す。



Figure 1 Hand-held type FT-IR measurement equipment

2.3 インデーターモジュラス法 (IM)

インデーターモジュラス法 (IM) は、サンプルに押針 (Indenter) を押し込み、その際の押し込み変位に対する押し込み力の勾配を測定して物性弾性係数と同じ N/mm の単位で与えられる測定値を得るものである^[2]。ここでは、(株)原子力安全システム研究所が開発した携帯型装置を用いて測定を行った。IM 測定装置の外観を Fig.2 に示す。



Figure 2 IM measurement equipment

3. 測定結果

FT-IR 及び IM の測定結果と破断伸び (EAB) との相関をプロットした例を Fig.3~Fig.8 に示す。なお、FT-IR については、得られたスペクトルにおいて劣化に伴い増大するピーク面積を母材に由来するピーク面積で規格化した無次元量の値を測定値とした。

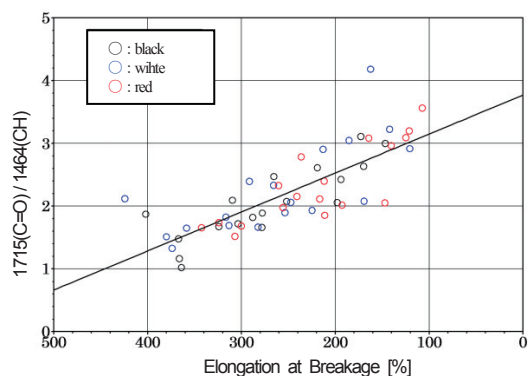


Figure 3 Correlation between FT-IR value and EAB (FR-EPR, Manufacturer C)

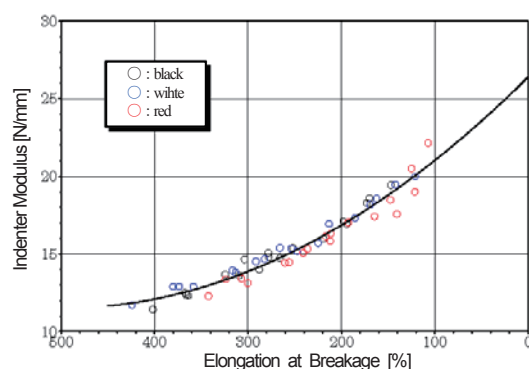


Figure 4 Correlation between IM and EAB (FR-EPR, Manufacturer C)

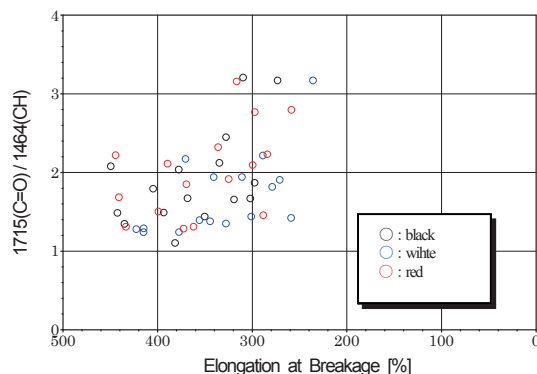


Figure 5 Correlation between FT-IR value and EAB (FR-EPR, Manufacturer B)

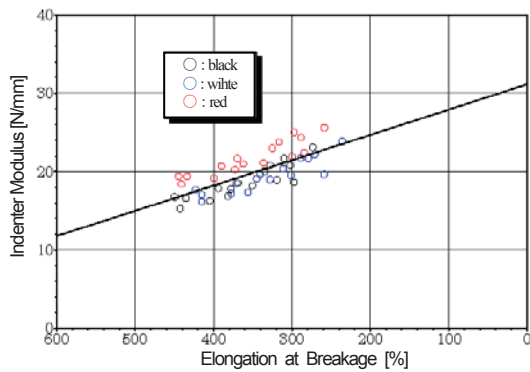


Figure 6 Correlation between IM and EAB
(FR-EPR, Manufacturer B)

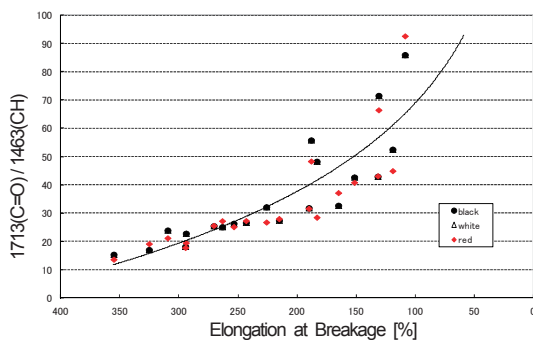


Figure 7 Correlation between FT-IR value and EAB
(FR-XLPE, Manufacturer A)

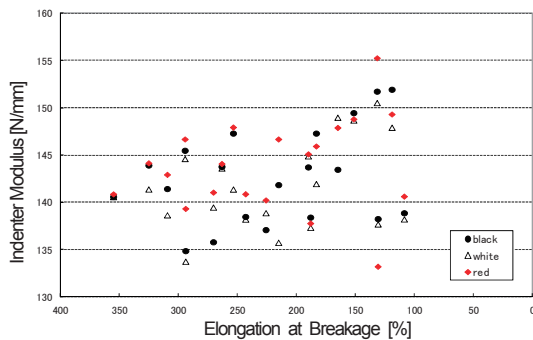


Figure 8 Correlation between IM and EAB
(FR-XLPE, Manufacturer A)

C社FR-EPRの例では、Fig.3及びFig.4に示すように、FT-IR、IMともに概ねEABと良い相関を示している。

B社FR-EPRの例では (Fig.5, Fig.6)、IMとEABに相関は見られるが、FT-IRとEABの間に相関は見られない。

また、A社FR-XLPEの例では、FT-IRとEABに相関は見られるが、IMとEABの間に相関は見られない。

全ての絶縁材の測定結果では、FT-IRとIMが共にEABと良好な相関を示す例が多く見られたが、FT-IRについては一部のゴム系絶縁材（難燃EPゴム）に対して、IMに

ついては一部のポリエチレン系絶縁材に対して、相関が見られなかった。

測定した全ての絶縁材におけるFT-IR及びIMとEABの相関の有無をTable 2に示す。

Table 2 Correlation between FT-IR/IM and EAB

Insulation Material	Manufacturer	Correlation to EAB	
		FT-IR	IM
XLPE	A	○	○
XLPE	B	○	○
FR-XLPE	A	○	×
FR-XLPE	B	○	○
EPR	C	○	○
FR-EPR	B	×	○
FR-EPR	C	○	○
SiR	C	○	○
SHPVC	A	○	○
SHPVC	B	○	○

○ : good correlation, × : no correlation

3. 結言

測定装置が持ち運び可能で現場測定が可能、かつケーブル絶縁材の経年劣化を状態監視可能な手法としてFT-IR及びIMを選定し適用性を評価した。

FT-IR及びIMは、共に一部の絶縁材には適用できない例が見られたが、大部分の絶縁材に対して適用可能であることが確認された。

FT-IRとIMを組み合わせることで、絶縁材の経年劣化を化学的性質と機械的性質の両面から監視することが可能であり、経年劣化管理における状態監視の信頼性を向上することが可能である。

また、FT-IR及びIMが一部の絶縁材には適用できない例が見られたが、両者が共に適用できない例は見られていないことから、両者を相互補完的に組み合わせることで少なくとも一方が絶縁材の経年劣化を監視することが可能と考えられる。FT-IRとIMの相互補完関係をFig.9に示す。

Mutually Complementary		
Application	Merit	Demerit
FT-IR	<ul style="list-style-type: none"> • Applicable to most of rubber type insulation material • Applicable to XLPE type insulation material 	<ul style="list-style-type: none"> • Not applicable to some type of rubber insulation material
IM	<ul style="list-style-type: none"> • Applicable to all rubber type insulation material 	<ul style="list-style-type: none"> • Poorly applicable to some type of XLPE insulation material

Figure 9 Mutually complementary relationship between FT-IR and IM

FT-IR 及び IM はともに現場測定が可能な非破壊検査手法であり、これらを用いることで原子カプラントに設置されている低圧ケーブルの経年劣化傾向の監視が簡便に行えるようになることが期待される。

また、各種絶縁材料について EAB の劣化傾向に対応する FT-IR 及び IM のデータを蓄積することで、EAB の許容基準に対応する FT-IR 及び IM の許容基準を定め、状態監視プログラムとして活用することが期待できる。

参考文献

- [1] (独) 原子力安全基盤機構 原子力システム安全部、
“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
- [2] 松波潮、三上雅生、“インデントモジュラス法によるケーブルの経年劣化診断手法の検討”、INSS JOURNAL 15、2008、 pp.236-242.

