

早稲田大学・東京都市大学 共同原子カ専攻 第16回未来エネルギーフォーラムシンポジウム 原子カエネルギー利用と安全研究の最前線

原子力発電所用ケーブルの劣化位置標定 と重大事故環境下での劣化挙動

早稲田大学各務記念材料技術研究所 大木義路

元 共同原子力専攻ならびに電気・情報生命専攻

未来エネルギーフォーラムシンポジウム



未来エネルギー	ーフォーラ	ラムシン	ポジウム
	~ ^ _	/_//	











② Cを変化させるためにケーブルの一部を圧迫した場合



VER



外径:約4.95mm

未来エネルギーフォーラムシンポジウム

UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WAS



Y. Ohki, T. Yamada, and N. Hirai, "Precise Location of the Excessive Temperature Points in Polymer Insulated Cables", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 20, No. 6, pp. 2099-2106, 2013.

RSITY WASEDA LINIVERSITY WASEDA LINIVERSITY WA



平井直志, 大木義路, "周波数領域反射測定法によるケーブル歪み位置の標定", 誘電・絶縁材料/電線・ケーブル合同研究会資料, DEI-14-044, pp. 29-34, 2014.

☞ <u>劣化位置標定の精度向上においては、劣化前後の差分を取る</u> ことが非常に有効

本手法:非常に高感度 => 劣化処理中にケーブルが動いた、測定中にケーブルに手が触れ るなどが原因で、信号が大きく現れる。

☞ 差分を求める場合は、対数を真数へ戻したのちに取った差分を改めて対数に変換

実際の施設:ケーブルは固定 (1)劣化によるピーク以外のピークは消える筈 (2)差分を求めることは本手法適用の障害に はならない



TY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY









旧原子力安全基盤機構, "原子カ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レポート, p. 256, 2009. 企化指標管理値室 本研究と同じ管状試料について取得

 劣化指標管理値案
 本研究と同じ管状

 A 社難燃 EP ゴム
絶縁ケーブル
 70%
 60%でその後の LOCA に耐えられることを
確認

 B 社難燃 EP ゴム
絶縁ケーブル
 230%
 204%でその後の LOCA に耐えられることを
を確認

 C 社難燃 EP ゴム
絶縁ケーブル
 230%
 184%でその後の LOCA に耐えられることと
を確認

旧(独)原子力安全基盤機構(JNES)が、難燃EPDMケーブルについて、 ケーブル供用期間末期に設計想定事故が起こったとして、ケーブルが 健全性を保持できる指標として推奨する引張破断伸び

本手法によりγ線照射位置が標定できるようになる線量:312kGy

312kGy照射後の管状試料の引張破断伸び:約400%

本手法は、EPDMの劣化がはるかに軽度なうちから、 照射位置標定可能

未来エネルギーフォーラムシンポジウム

上記指標値(230%)

よりはるかに大きい



全長1000mのケーブルの900m付近の幅30cmを加熱 (低密度ポリエチレン絶縁同軸ケーブル)

未来エネルギーフォーラムシンポジウム





2.0



時の位置標定 => 実は897m付近を加熱していた

未来エネルギーフォーラムシンポジウム

UNIVER







WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY





NIVERS



《25》



同軸ケーブル3本を繋いだ長尺測定系

未来エネルギーフォーラムシンポジウム

VASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY

ERSITY WASEDA UNIVERS



EDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA

他の成果(その4)



長さ31.5mのケーブルの測定装置より約15m離れた位置で、加熱幅約6cmの2つのリボンヒータの間隔を変化させ、加熱部を検出することによって、劣化位置標定の位置分解能について検討

●同軸ケーブル:RG-58a/u

内部導体外径:0.9 mm、絶縁体外径2.9 mm、シース外径4.95 mm、全長31.5 m







WASEDA UNIVERSITY WASED SEDA UNIVERSITY TYWASEDA UNIV



<u>紹介した研究のまとめ</u> FDRとIFFTを組合せたケーブルの非破壊劣化位置標 定法を開発

- (1) 温度上昇 12m付近で僅か幅2.5cmでの5℃の上昇900m付近の幅30cmでの5℃の上昇
- (2)加圧 5m付近で僅か幅1.0cmでのクランプでの加圧
 (3)熱・放射線同時劣化 長さ50mの難燃EPDM絶縁3芯
 ケーブルのケーブル端より約30m付近、長さ約40cmに局所的に加熱と放射線照射を同時付与 =>原子力発電所での劣化
 管理指標よりも軽度の劣化の位置標定が可能
 (4)ケーブル全体の劣化や状態変化も検出可能 長さ30mの ケーブルで実証
- (5) 同軸ケーブル 長さが1000m程度まで十分に適用可能

未来エネルギーフォーラムシンポジウム



32

<u>紹介した研究のまとめ</u>

(6) 測定最高周波数を高くすると、位置標定の空間的感度は 上昇するが、ピーク強度で評価した感度は減少する。 波長が短くなることに対応

(7) 同軸ケーブルでは、測定最高周波数が1.5GHzのとき、明確 に区別できる位置分解能は30cm、何とか識別できる位置分解 能は1cm

(8) 講演では触れなかったが、ケーブルの終端を、①短絡、②開放、③インピーダンス整合維持の3条件で位置標定性能に差はない=>供用中ケーブルの劣化度推定も可能な筈
 (9) 電磁波の移動速度やケーブル絶縁体の誘電率も推定可能
 (10) 差分を取ることが有効<=実際の施設ではケーブルは固定されているので障害にはならない

未来エネルギーフォーラムシンポジウム

仮に送電系統などに適用を目指すとす れば開発すべき課題

現状

たとえば、電子回路による10 dBm(=10 mW?)ほどの出力の電 磁波を「1 MHz~30 MHz」から「1 MHz~1 GHz」の間について 6000余りの異なる周波数で、最高周波数を(上の例では)30 MHz~1 GHzに変えながら、ケーブルに入射。

長尺ケーブル (1)低周波しか伝搬しない。 (2)大電力が必要。 (3)位置分解能も落としたくない。

未来エネルギーフォーラムシンポジウム



34

(1) 周波数帯を1/1000にする? (2) 電源出力を1000倍(=10 W?) に上げる (3)たとえば1 kHzの電磁波の波長 はケーブル中で200 km -> 6000分 割でも33 m → 100倍に上げれば 33 cm

未来エネルギーフォーラムシンポジウム



未来エネルギーフォーラムシンポジウム

原子力施設でケーブルの不具合事象例

我国の原子力施設でケーブルの事 故例が1996年1月~2005年4月の期 間にどれだけあったかを調べた。 ケーブルの劣化が原因と疑われる 不具合事象という報告は一例。温 度が上がる装置のそばにケーブル が敷設されていた結果として、絶 緑体が劣化したという事象であり 最終的にはケーブルの劣化によ る不具合事象としては認定されて いない。つまり、実際にケーブル の劣化が原因の不具合事象は、我 が国では、その当時報告されてい なかった。ただし、米国ではケー ブルの劣化による不具合事象の報 告が多数なされている。

表2 我国原子力発電所電気設備で発生した不具合事象の原因 Table 2 Causes of troubles occurred in electrical apparatus in nuclear power plants in Japan.

件数
178
127
65
13
5
3
105
91
587

表3 経年劣化による絶縁低下が原因と思われる不具合事象が発生 した電気部品と事象発生までの原子炉の運転年数および事象の発 生原因

Table 3 Electrical parts in which troubles occurred due to dielectric degradation caused by aging, operation periods of nuclear generators before troubles and causes of troubles.

電気部品名	原子炉運転年数	不具	合事象の原	因
電動ポンプモータコイル(2件)	20, 18	施工不良、	保守不備、	経年劣化
原子炉再循環ポンプ用電源装置基板	17		経年劣化	
一次冷却材ポンプ電源ユニット	13		経年劣化	
非常用ガス処理系排気ファンヒューズ	12	施工不良、	保守不備、	経年劣化
制御盤基板	11	施工不良、	保守不備、	経年劣化
電動給水ブースタポンプケーブル	10	施工不良、	保守不備、	経年劣化
原子炉再循環ポンプリレーコイル	10		経年劣化	
バスダクト	9	施工不良、	保守不備、	経年劣化
制御盤ヒューズ	7	施工不良、	保守不備、	経年劣化
主蒸気管モニタ電源トランス	4	施工不良、	保守不備、	経年劣化

実際に使用されているケーブルやその絶縁材 料について

- (1)<mark>経年劣化(=</mark>運転中の劣化)を加速劣化で 付与:<u>高温下で放射線照射</u>
- (2)重大事故を模擬した環境:高線量率での放 射線照射+高温高圧の加熱水蒸気曝露(に曝 す。

=>絶縁材料の化学的・熱的・機械的・電気的 特性を,劣化付与前と付与期間中に経時的に 調べていく。

未来エネルギーフォーラムシンポジウム









未来エネルギーフォーラムシンポジウム

WASEDA UNIVERSITY WASEDA



テラヘルツ時間領域分光装置 (THz-TDS)

- TAS7500TS: Advantest
 雰囲気:室温乾燥空気中
 測定周波数: 0.5 5.0 THz
 分解能: 7.6 GHz
 積算回数: 4096 回
 測定法:透過法
- •測定回数:各試料3回

UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY



THz-TDS装置

42



ZAIKEN Parken kenne Vinner ver

◆エポキシ樹脂とは
 熱硬化性樹脂の一種
 優れた耐熱性,絶縁性,機械的強度を持つ
 ▶ 用途:電気機器の絶縁材料や接着剤など

一方で, 靭性が低い(=割れやすい)ため, 靭性を高める添加剤や硬化剤の工夫がなされることもある

・・・本研究内では、その靭性の高いエポキシ樹脂を扱う



ビスフェノールF型エポキシ樹脂の構造式

未来エネルギーフォーラムシンポジウム

引張試験 □ 機器:万能試験機 5565型(インストロン) □ 引張速度: 500 mm/min □ 測定回数:5 回 □ 試料サイズ: JIS K 7139 被素誘電率 測定 □ 機器: SI126096W(Solartron) □ 交流電圧: 3 V _{rms} □ 測定周波数: 10 ⁻² -10 ⁵ Hz Ill 定用 法数: 10 ⁻² -10 ⁵ Hz	ASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY ADVECTION ADVECTOR ADVE	ASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY 体部の目的ではないでは、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本部の目的では、 本語のに、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語の目的では、 本語のでは、 本語の目的では、 本語のでは、 本語の目的では、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語のでは、 本語の
複素誘電率測定 □ 機器:SI126096W(Solartron) □ 交流電圧:3 V _{rms} □ 測定雰囲気:真空 □ 測定周波数:10 ⁻² -10 ⁵ Hz	 引張試験 【 機器:万能試験機 5565型(インスト 【 引張速度: 500 mm/min 【 測定回数:5 回 【 試料サイズ: JIS K 7139 	」 (FT-IR) ロ装置名:FT/IR-4200(日本分光) ロ測定波数:400~4000cm ⁻¹ ロ測定法:全反射吸収法(ATR法)
	 複素誘電率測定 □ 機器:SI126096W(Solartron) □ 交流電圧:3 V_{rms} □ 測定雰囲気:真空 □ 測定周波数:10⁻²-10⁵ Hz □ 測定温度:室温 	 □ 雰囲気:室温大気中 □ 分解能:4.0cm⁻¹ □ 積算回数:64回 □ 測定回数:各試料3回

ミ験ナ	ī法	•	;;;

則定試料表(軟質エポキシ樹脂) 実 熱サイクル低線量率照射(C) 蒸気暴露 168h 熱サイクル 100Gy/h 総線量 高線量率照射 名称 温度:100°C→40°C, 5kGy/h (kGy) (kGy) 温度(℃) 蒸気圧(MPaG) $100^{\circ}C(kGy)$ $40^{\circ}C(kGy)$ 線量率: 100 Gy/h, 熱サイクル数:40回 0 Ρ 130 230 100 С 室温高線量率照射(R) 130 100 171 0.64 CS_m 線量率: 5 kGy/h, 230 温度:室温(約20℃) CS_h 130 0.9 230 100 200 800 800 R 中温中圧蒸気暴露(S_m) 酸素無し,温度:171°C 800 171 0.64 800 RS_m 蒸気圧:0.64MPaG 0.9 800 RS_h 800 200 劣化時間: 168時間 130 100 700 930 CR 高温高圧蒸気暴露(S_b) 130 100 171 0.64 930 CRS_m 700 酸素無し,温度:200°C CRS_h 130 700 0.9 930 100 200 蒸気圧:0.9MPaG 171 0.64 0 Sm 劣化時間: 168時間 **《**45**》** 0.9 200 S_h 0 熱や放射線は蒸気暴露によって 蒸気暴露によって 試料が溶ける事を妨げている 溶けたため試料無し



WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY





研究例の紹介(その2) SiR(シリコーンゴム) 各試料の劣化条件

		ガ	ンマ線	照射条	4	過熱	水蒸気暴	露 ※1	
試料名	リンマ旅昭は古法	線量率	温度	時間	総線量	温度	圧力	期間	シンボル
	照初刀云	(kGy/h)	(°C)	(h)	(kGy)	(°C)	(MPaG)	(Day)	
U									
R	室温高線量率照射	10	室温	80	800				0
С	高温低線量率照射	0.1	100	6241	624				Δ
S 1					×2	171	0.64	7	Δ
RS1	室温高線量率照射	10	室温	80	800	171	0.64	7	
CS1	高温低線量率照射	0.1	100	6241	624	171	0.64	7	
S2						200	0.9	7	
RS2	室温高線量率照射	10	室温	80	800 ^{×3}	200	0.9	7	
CS2	高温低線量率照射	0.1	100	6241	624	200	0.9	_ 7 _	

※1 酸素を含有しない水蒸気 ※2 中温中圧水蒸気暴露 ※3 高温高圧水蒸気暴露

<試料名の意味>

- U: Unaged, C: Concurrent aging, R: Radiation,
- S1 : Steam exposure at 171 °C, S2 : Steam exposure at 200 °C

未来エネルギーフォーラムシンポジウム

SiR(シリコーンゴム)破除	新点伸び(EAB)
500 (g) 400 (g) 400 300 100 0 U R R S1 RS2 RS1 RS1 RS1 RS1 RS1 RS1 RS1 RS1 RS1 RS1	S2は脆すぎて引張試験に使用できない: B EAB = 0 EAB RS2>S2 先行するガンマ線照射が蒸気曝露によって生じるSiRの劣化(ー加水分解)を抑制

VASEDA UNIVERSITY

UNIVERSITYWASED

応力-ひずみ曲線から測定可能な引張強度および靭 性の値によっても同様の劣化の緩和が確認できる

未来エネルギーフォーラムシンポジウム

《50》

SiR(シリコーンゴム)インデンターモジュラス(IN)



IM: 押針に加えた力に対する 窪み深さの微係数。試料表面 の硬さを示す指標。

S2のIMは1.8N/mmと非常に低 い=> 200°Cの蒸気にさらされる とSiRが脆くなる。一方、R、S1、 RS1、RS2のように高いIM値は 、硬化を意味する。

200°Cの蒸気=>IMはS2で大幅 に低下するが、RS2では低下し ない。 => SiRにおける事前の ガンマ線照射による劣化(加水 分解)の緩和

未来エネルギーフォーラムシンポジウム



52

SiR(シリコーンゴム)

シリコーンゴム:ガンマ線が当たると架橋 => 劣化の緩和



架橋が加水分解を遅らせる

[Ref.] T. Kaneko, S. Ito, T. Minakawa, N. Hirai, and Y. Ohki, "Degradation mechanisms of silicone rubber under different aging conditions," Polym. Deg. Stab., Vol. 168, 108936, 2019.

未来エネルギーフォーラムシンポジウム

WASEDA UNIVERSITY WASEDA UN
軟質エポキシ樹脂とシリコーンゴムでは、その後の 蒸気曝露による加水分解が軽減される。
難燃架橋ポリエチレンでは高温での電荷輸送が抑制 される。
難燃架橋ポリオレフィンでは熱劣化が抑制される。
照射により適切な <mark>架橋構造が形成され、</mark> 試料が堅
牢になることが理由と考えられる。
難燃エチレンプロピレンジェンゴムでは上とは逆の
<mark>劣化の緩和が見られる(次項)。</mark> _{未来エネルギーフォーラムシンポジウム} 53



 5Δ

実験方法

富雷界領域

100

200

Time t [s]

Q(t)時間特性測定例

 Q_0

1.0

電流積分法: 試料に直流電圧を印加した時に流れる電流 を、試料と直列に接続された計測用コンデンサに充電す ることによって、コンデンサの電極に蓄えられる電荷 ±Qによって電極間に生じる電位差を計測する。 端末処理を施したケーブルに1~16 kVの直流高電圧を 電圧印加180秒と短絡60秒の組合せを1サイクルとして印 加し、1秒間隔で測定を行なった。

 $dQ(t)/dt:漏れ電流 Q(t)/Q_0より絶縁特性の 評価が可能$







56

Q(t):6 kV以下では電圧印加時間t に依存せずにほぼ一定。印加 電圧が上がると、t = 180秒での比Q(180)/Q₀(t = 0秒でのQ)は大 幅に増加。16 kV印加時では約8。=> 漏れ電流が流れている。



未劣化ケーブルの結果

未来エネルギーフォーラムシンポジウム

応知する 冷却材喪失事故 (LOCA)に耐えられる限度とされるまで 同時劣化させたケーブル

印加電圧が上がると、比Q(180)/Q₀はやや増加。 16 kV印加時では約3。=> 漏れ電流が少し流れている。





印加電圧が上がっても、比Q(180)/Q₀は不変。 => 漏れ電流は流れない。







(ここの)結果のまとめ

未劣化ケーブルに比較して、絶縁体の電気絶縁性 は、同時劣化ケーブルではある程度向上しており、 撤 去ケーブルでは著しく向上している。

絶縁体の電気絶縁性が、劣化処理を施した後で良化 して観測されること(劣化の緩和)は、それほど珍しいこ とではない。例えば、シリコーンゴム、FR-XLPO、FR-XLPE、軟質エポキシ樹脂

未来エネルギーフォーラムシンポジウム



上述のケーブルを長さ15cm に切断⇒中の黒,赤,白の3 本の芯線に長手方向に切目を 入れて導体を取り出す⇒切目 の入った管状供試体試料 実験方法

管状供試体を特殊治具で引
張試験機に装着→掴み位置間
隔 100 mm, 引張速度500
mm/min→引張応力(stress)に
対する歪み(strain)の変化(
応カー歪み曲線)→引張強
度TSおよび引張破断伸び
EABを測定

		Results	
Name	Numbor*	TS	EAB
	Number	(N/mm²)	(%)
D0	9	4.39	420
D1R	6	3.49	65
D1S	9	3.48	83
D2R	4	3.24	60
D2S	9	3.07	73
D3R	7	3.87	77
D3S	8	3.28	73
D4R	9	4.03	70
D4S	9	3.38	78
D5R	7	4.00	71
D5S	9	3.36	79
D6R	7	4.22	77
D6S	8	3.23	73
D7R	0	_	_
D7S	8	1.03	47

実験結果

*全9個の試料のうち有効な測定の出来た試料数



与えたD1S~D3S, D4S~D6S, D7Sとの間で有効な測定値が得られ た試料数を比較 63



64

事故時照射Rを施された試料が激しく劣化しても. 引続く水蒸気曝露により劣化が軽減されることを 明確に示す。FR-EPDMでは、室温高線量率での 事故時照射Rなどでは分子鎖の切断が起こる。分 子鎖切断による未結合手を持つラジカルが豊富 な状態で水蒸気曝露を受けると高温によりラジカ ル同士の結合が活性化され再び比較的強固な状 態に戻る。

未来エネルギーフォーラムシンポジウム

原子力発電所において23年間実使用された低圧難燃エチレンプ ロピレンジェンゴム絶縁ケーブルを撤去し、電流積分法により評価 した。その結果、漏れ電流は、未使用ケーブルにおいて最も多く流 れ、撤去ケーブルで最も少ない。

結果が再現されるならば、上述の環境に近い条件で使用される同 種ケーブルに関する限り、電気絶縁性の劣化はそれほど心配しなく てよいことになる。

また,経年と事故時照射により引起こされた機械的な劣化は,そ の後の高温高圧力下での水蒸気曝露により軽減される。照射による 分子鎖切断によって誘起された未結合ラジカルが豊富な状態で水蒸 気曝露を経ると高温によりラジカル同士の結合が活性化され,FR-EPDMが再び比較的強固な状態に戻ると思われる。

未来エネルギーフォーラムシンポジウム



未来エネルギーフォーラムシンポジウム

WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY S



NRA 技術報告

NRA Technical Report Series



ケーブルの絶縁特性の分析 重大事故環境下における

Analysis of Insulation Performance of Cables

under Severe Accident Environmental Conditions

MINAKAWA Takefumi, IKEDA Masaaki, and TAGUCHI Kiyotaka Division of Research for Reactor System Safety 東海 雅昭、田口 システム安全研究部門 武史、池田 も同

Secretariat of Nuclear Regulation Authority (S/NRA/R) Regulatory Standard and Research Department. Ļ 長官官房技術基盤グル 原子力規制庁

令和元年 11 月 November 2019

原子力規制委員会 Nuclear Regulation Authority

67

WAS	ASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY 1. 2 本技術報告関連の既発表論文等	
FDA	本技術報告に記載した成果の一部については、以下に示す論文等において公表済である。	
UNI	Takefumi Minakawa, Masaaki Ikeda, Naoshi Hirai, and Yoshimichi Ohki. "Insulation	
VFR	Performance of Safety-related Cables for Nuclear Power Plants under Simulated Severe	
SITY	Accident Conditions", IEEJ Trans. Fundam. Mater. Vol. 139, No. 2, pp.54-59, 2019.	
WAS	Takefumi Minakawa, Masaaki Ikeda, Naoshi Hirai, and Yoshimichi Ohki, "Aging State Analysis	
EDA	of Safety-related Cables for Nuclear Power Plants Exposed to Simulated Accident Conditions,"	
UNI	IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 9-2, pp. 765-768, Cancun,	
VFR	Mexico, 2018.10.24.	
SITY	皆川武史、池田雅昭、平井直志、大木義路、"事故模擬環境に暴露した原子力発電所用	
WAS	安全系ケーブルの劣化状態分析"、第48回電気電子絶縁材料システムシンポジウム、愛	
SED	娱県、愛媛大学、2018.9.11 .	
	・皆川武史、池田雅昭、平井直志、大木義路、"沸騰水型原子炉用安全系低圧ケーブルの高	
IIVFF	這蒸気暴露中及びその後の絶縁性能"、日本保全学会第15回学術講演会、福岡県、福岡国	
RSIT	際会議場、2018.7.12.	
WA	皆川武史、平井直志、大木叢路、"高温蒸気条件下における原子力発電所用安全系ケープ	
SED	ルの絶縁性能"、電気学会誘電・絶縁材料/電線・ケーブル合同研究会、DEI-18-060、EWC-	
AUN	18-002、大阪府、中央電気倶楽部、2018.3.2.	
IVF	皆川武史、池田雅昭、"重大事故模擬環境下における原子力発電所用安全系ケープルの	
RSIT	絶縁性能"、原子力規制委員会安全研究報告会、2017.10.4.	
YW/	http://www.nsr.go.jp/data/000207190.pdf (2019年11月1日確認)	
SFI	Takefumi Minakawa, Masaaki Ikeda, Naoshi Hirai, and Yoshimichi Ohki. "Insulation Performance	
	of Safety-related Cables for Nuclear Power Plants under Simulated Severe Accident Conditions,"	
NIVF	Eighth International Symposium on Electrical Insulating Materials, L4, pp. 716-719, Toyohashi,	
RSI	Japan, 2017.9.14.	
TY W	皆川武史、池田雅昭、平井直志、大木義路、"重大事故模擬環境下における原子力発電所	
ASE	用安全系ケーブルの絶縁性能"、日本保全学会第14回学術講演会、愛媛県、ひめぎんホー	
DAU	JL, 2017.8.3.	
NIVE	早稻田大学、"平成27年度原子力施設等防災対策等委託費(高経年化技術評価高度化(電気・	
RSIT	計装設備の長期健全性評価技術調査研究()事業 成果報告書"、平成28年3月.	
ryw.	早稻田大学、"平成28年度原子力施設等防災対策等委託費(高級年化技術評価高度化(電気・	
ASEI	計装設備の長期健全性評価技術調査研究()事業 成果報告書"、平成29年3月.	
DAU	皆川武史、池田雅昭、平井直志、大木義路、"重大事故模擬環境に暴露したエチレンプロ	
NIVI	ピレンジエンゴム絶縁ケーブルの劣化状態分析"、鵤気芋会編文誌A、Nol. 139、No.9、	
RSIT	89 pp.380-386, 2019.	
YX	aseda liniversity waseda university waseda university waseda university waseda university	



ご清聴ありがとうございました

RSITY **WASEDA** UNIVERSITY **WASEDA** UNIVERSITY **WASEDA** UNIVERSITY **WASEDA** UN

本発表は、早稲田大学が原子力規制庁より受託したいくつかの事業*の成果を基にしている。 事業受託と研究実施に尽力されている早稲田 大学平井直志研究院教授に謝意を表します。

*平成29年度原子力施設等防災対策等委託費(高経年化技術評価高度化(電気・計装設備用高分子材料の長期健全性評価研究))事業、 平成30年度原子力施設等防災対策等委託費(高経年化技術評価高度化(電気・計装設備用高分子材料の長期健全性評価研究))事業、 平成31年度原子力施設等防災対策等委託費(高経年化技術評価高度化(電気・計装設備用高分子材料の長期健全性評価研究))事業、 令和2年度原子力施設等防災対策等委託費(実機材料等を活用した経年劣化評価・検証(電気・計装設備の健全性評価研究))事業

ERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIVERSITY WASEDA UNIV