

電力機器・設備において実用化されている 絶縁材料と最新の診断技術

最新の實用材料を使用した電力機器における
絶縁診断技術調査専門委員会編

目 次

1. はじめに	3	5. ガス絶縁開閉装置	56
2. ケーブル	4	5.1 構造および材料	56
2.1 CV ケーブル	4	5.2 劣化メカニズム	58
2.1.1 ケーブルおよび接続部の 構造および材料	4	5.3 劣化診断技術	62
2.1.2 劣化要因	11	5.4 寿命限界	66
2.1.3 劣化メカニズム	12	6. 遮断器・断路器	69
2.1.4 劣化診断法	15	6.1 構造と絶縁材料	69
2.2 OF ケーブル	20	6.2 劣化要因	71
2.2.1 ケーブルおよび接続部の 構造および材料	20	6.3 劣化診断方法と余寿命診断方法	74
2.2.2 劣化要因と劣化形態	23	7. トラブル事例	79
2.2.3 劣化診断法	25	7.1 ケーブルにおけるトラブル事例	79
3. 油入変圧器	28	7.2 変圧器におけるトラブル事例	81
3.1 近年において変圧器に適用された 絶縁材料と診断技術	28	7.3 回転機におけるトラブル事例	83
3.2 メンテナンスの省力化・故障復旧の 迅速化に向けた絶縁材料・絶縁方式の 導入事例	34	7.4 GIS におけるトラブル事例	85
3.3 従来から変圧器に使用される 固体絶縁材料の劣化現象と 診断技術に関する研究動向	36	7.5 遮断器におけるトラブル事例	85
3.4 環境への配慮事項	41	7.6 おわりに	86
3.5 まとめ	43	8. IoT・AI の活用事例	87
4. 回転機	46	8.1 IoT・AI 活用のための プラットフォームとセンサデバイス	87
4.1 回転機の構造と絶縁材料	46	8.2 IoT の活用事例	89
4.2 絶縁劣化要因と絶縁劣化メカニズム	49	8.3 AI の活用事例	90
4.3 絶縁診断技術	51	8.4 絶縁診断における IoT・AI 活用に向けての課題	91
4.4 まとめ	55	9. 今後の課題	94
		9.1 電気絶縁材料に関する課題	94
		9.2 電力機器・設備に関する技術課題	94
		9.3 環境問題への対応に向けた課題	96
		10. おわりに	100

最新の実用材料を使用した電力機器における 絶縁診断技術調査専門委員会委員

委員長	江原 由泰(東京都市大学)	委員	林屋 均(東日本旅客鉄道(株))
幹事	栗原 隆史((一財)電力中央研究所)		平井 優征(桑原電工(株))
委員	池守 正(株ウェーブシステム)		藤木 淳(日東シンコー(株))
	井上 誠一(富士電機(株))		古川 隆幸(東日本旅客鉄道(株))
	浦野 幸治(SE Technology, Ltd.)		山崎 直哉(住友電気工業(株))
	江藤 計介(出光興産(株))		吉岡 靖浩(株 明電舎)
	海老沼康光(元湘南工科大学)		吉田 昌展(中部電力(株))
	神谷 宏之(元(株)日立製作所)		
	蒲原 弘昭(大 電 (株))	退任委員	横 畠 系典(東京電力パワーグリッド(株))
	小迫 雅裕(九州工業大学)		
	今 博之(株 フジクラ)	主な	飯坂 達也(富士電機(株))
	茂森 直登(古河電気工業(株))	参加者	陳 敏(SE Technology, Ltd.)
	末長 清佳(JFE アドバンテック(株))		高田 達雄(元東京都市大学)
	田村 俊輔(東京電力ホールディングス(株))		日高 武雄(日本エマソン(株))
	高根沢 真(東芝エネルギーシステムズ(株))		原田 輝幸(光 商 工 (株))
	長 広 明(東芝インフラシステムズ(株))		山崎 信行(光 商 工 (株))
	林 和 徳(喜 多 町 企 画)		

1. はじめに

2015 年 9 月の国連サミットでは、2016 年から 2030 年までの期間で達成を目指す、SDGs（持続可能な開発目標）が採択された。これは開発途上国に対する支援から、エネルギーや経済成長、気候変動、海洋資源など包括的な 17 の国際的な目標で構成されている。SDGs の産業と技術革新の基盤をつくる目標 9 では、強靱（レジリエント）なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進およびイノベーションの推進を図ることをテーマとしている。

強靱なインフラとは、災害が起きても早急に復旧する意味でもあるが、災害を未然に防ぐ手段も重要である。電力機器・設備は産業インフラ維持のための根幹であり、停電事故などによる災害の影響は大きく、そのため電力機器・設備などの絶縁状態を把握する診断法は、古くから重要視されてきた。さらに近年では、電力機器・設備の寿命予知が試みられている。

基礎・材料・共通部門(A 部門)の誘電・絶縁材料技術委員会では表 1 に示すように、1980 年より 10 回にわたり絶縁劣化診断関連の調査専門委員会を設けて、継続的に調査・検討してきた。当初は電力機器・設備などを停電して行うオフライン診断であったが、その後には活線・運転状態におけるオンライン診断のデータが蓄積されはじめた。これらの調査結果はそれぞれ技術報告^{(1)~(8)}や出版本⁽⁹⁾としてまとめられており、高い評価を得ている。

電力機器・設備に使用される多くの絶縁材料は、適用機器や設備ごとに変遷を遂げている。天然絶縁材料から人工絶縁材料へ転換し、さらに高機能化し多様化してきた。このような電気絶縁材料の変遷に伴い、現在使用されている主力の絶縁システムは複合的に機能性材料が重畳され、劣化に対して非常に堅牢なものとなっている。しかしながら、それらの機器に対して劣化指標となりうる物理現象や破壊の前駆現象を検知する技術は確立されておらず、寿命予測

が立てられない機器も製造されている。例えば、技術革新により長寿命化した、三層同時押出により製造される E-E 方式の CV ケーブルや、エポキシ樹脂でモールドされた機器などは、それらの劣化状態を的確に把握する診断技術は確立されていない。

一方、近年では安価なセンサと通信インフラが整備され、IoT に関する取り組みが積極的に行われている。現場の運用データや設備機器データ、診断データなどの大容量データを処理できるようになってきた。今後は AI を活用した遠隔絶縁劣化診断システムを確立し、ビッグデータ解析などを駆使して、絶縁診断精度の向上が可能となる。

これらの背景のもと、誘電・絶縁材料技術委員会では、「最新の実用材料を使用した電力機器・設備における絶縁診断技術」調査専門委員会を設置した。最新の絶縁材料の特性や劣化メカニズムを把握することは意義深く、対象となる電力機器・設備の最適な絶縁診断技術の選択に必要となる。したがって本報告書では、高圧・特別高圧用の電力機器・設備を中心に、実用化されている絶縁材料と最新の診断技術、さらには絶縁診断における IoT や AI の活用に関する動向および課題を調査し、検討したことをまとめている。

参考文献

(1) 電気学会技術報告:「絶縁劣化診断試験方法」, (II 部) 第 182 号 (1984)
(2) 電気学会技術報告:「特別高圧回転機・ケーブルの絶縁劣化診断技術」, (II 部) 第 267 号 (1988)
(3) 電気学会技術報告:「電力設備の運転中の絶縁診断技術」, (II 部) 第 402 号 (1992)
(4) 電気学会技術報告:「電力設備の絶縁余寿命推定法」, 第 502 号 (1994)
(5) 電気学会技術報告:「絶縁材料の劣化と機器ケーブルの絶縁劣化判定の実際」, 第 752 号 (2000)
(6) 電気学会技術報告:「絶縁寿命限界と推定」, 第 882 号 (2002)
(7) 電気学会技術報告:「ケーブル・電気機器のオンライン計測による絶縁劣化診断技術」, 第 1064 号 (2006)
(8) 電気学会技術報告:「電力設備の絶縁材料と劣化診断技術」, 第 1245 号 (2012)
(9) 「電力機器・設備の絶縁診断技術」 オーム社 (2015)

表 1. 電力機器・設備の絶縁劣化診断命関連の調査専門委員会の活動
Table 1. Activities of investigation committee for insulation degradation diagnosis of electric power apparatus and equipment

年 度													
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
絶縁劣化 診断試験法				特高回転機ケーブル 絶縁の劣化診断				電力設備運転中 絶縁劣化診断				電力設備絶縁 余寿命推定法	
●技報II-Vol.182('84) ●技報II-Vol.267('88) ●技報Vol.402('92)													
94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07
絶縁材料の劣化と 絶縁劣化判定				絶縁材料と電気機器 の絶縁寿命限界				オンライン計測による 絶縁劣化診断				電力	
●技報Vol.502('94) ●技報Vol.752('00) ●技報Vol.882('02) ●技報Vol.1064('06)													
08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
設備の絶縁材 料と劣化診断				技術伝承を目的とし た絶縁診断技術				最新の実用材料の 絶縁診断技術					
●技報Vol.1245('12) ●実用書出版('15) 技報発行●													