



# OFケーブルの絶縁体劣化現象の解明

Degradation of the Oil Filled Cable

堤 貴彦\*

Takahiko Tsutsumi

岡本 岳

Gaku Okamoto

宮田 佳昭

Yoshiaki Miyata

坂口 恭生

Yasuo Sakaguchi

鈴木 公三

Kozo Suzuki

長谷川 隆章

Takaaki Hasegawa

OFケーブルは高度経済成長期に全国的に普及し重要な電力インフラとして送電網を支えてきた。従来、OFケーブルの劣化は非常に緩やかであると考えられてきたが、近年、経年OFケーブル線路における絶縁破壊事例が確認されている。劣化の実態調査として、経年OFケーブルを撤去し解体調査を行った結果、絶縁紙の炭化現象などOFケーブルの部分放電劣化（局所的な絶縁破壊現象による劣化）を示唆する事象が確認された。また、OFケーブルの電氣的弱点である油層部と部分放電の特性を、モデル試料を用いた実験により評価した結果、部分放電が連続発生するためには3つの条件（大きな油層・AC重畳インパルスの侵入・絶縁油ガス吸収特性の低下）が必要であり、また、ガス吸収特性の低下について、部分放電により絶縁油が分解され発生したガスが油層部に局所的に蓄積し、飽和溶解量付近まで高濃度化することが原因とわかった。

We investigated the aging mechanism of an oil filled (OF) cable and accessories to find a local carbonization of the insulation paper that suggests partial discharge degradation. Using a miniature model of the OF cable, we further investigated the conditions for continuous partial discharge. The three causes of the partial discharge are: 1) the thick oil layer in the insulation, 2) AC superimposed impulse, and 3) the degrading gas absorbing property of the insulation oil, which is caused by intermittent partial discharge.

キーワード：OFケーブル、部分放電、劣化現象、雷インパルス、アセチレン

## 1. 緒言

高度経済成長期に大量に導入された地中送電設備は運転開始から三～四十年を迎えるものが増え、今後は経年劣化に対する点検や診断、状態監視などの保守技術が不可欠である。特に高経年化している電力ケーブルの一種であるOFケーブルは、重要な電力インフラとして地中送電網を支えてきた。OFケーブルおよびその接続箱の劣化は非常に緩やかであると考えられてきたが、経年OFケーブル線路における絶縁破壊事例も確認されている。

筆者らはこれまで、経年OFケーブルの撤去調査を行い、その状態を確認するとともにモデル試料を用いた実験で局所的に欠陥が存在する場合の劣化メカニズムの解明を進め、OFケーブル線路の部分放電劣化やその進展状態の評価を行ったので報告する。

## 2. OFケーブルについて

OFケーブルの断面図を図1に示す。単に油浸紙を絶縁体としただけでは、温度変化による絶縁油の圧力低下で絶縁油中に気泡（以下ボイド）が生じ、要求特性を満足しない<sup>(1)</sup>。そのため、導体又は金属被の内側に油通路を設け（図1では導体内に設けている）、絶縁油に大気圧以上の圧力を外部に設置した油槽によって常時加え、高電界強度にも耐えられるよう設計されている。

OFケーブルは通常運転時の商用周波電圧（常規使用電

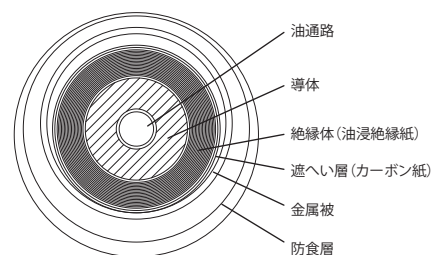


図1 OFケーブル断面図

圧、以下AC電圧）や、AC電圧を超える過電圧（事故時異常電圧、雷インパルス電圧、開閉インパルス電圧）に耐える必要があり、絶縁設計は電界条件的に厳しい雷インパルス電圧が、繰り返し侵入するとして実施される。また、AC電圧の長期課電による劣化は非常に緩やかであり、健全なOFケーブルであれば通常の使用状態においてはほとんど劣化せず<sup>(2)</sup>、過電圧の繰り返し課電に対しては雷インパルスを1000回程度印加しても劣化しないと考えられている。ただし、AC電圧に過電圧が重畳した場合と近似した減衰振動波形を繰り返し印加した場合には破壊強度が低下することは示されており、過電圧の繰り返し印加による劣化の可能性は完全には否定されていない<sup>(3)</sup>。

### 3. OFケーブルの絶縁性能低下要因

OFケーブルの絶縁性能が低下する要因は、過熱による絶縁紙重合度の低下、振動・熱伸縮による損傷・変形・絶縁体の崩れ、負圧（油圧が大気圧以下の状態）、漏油、絶縁油特性異常などが考えられており、点検技術が存在するものも多い（表1）。実際にはこれらの要因が複合的に重なり、劣化が進行すると考えられる。これまで、OFケーブルの点検技術として、絶縁油中のガスを分析し、部分放電（絶縁油の局所的な絶縁破壊）により生成されるアセチレンや可燃性ガス量を劣化度合いの目安とする油中ガス分析が一般的に実施されている。

表1 OFケーブル線路の絶縁性能の低下要因と点検技術

要因	OFケーブルへの影響	点検技術
部分放電	・絶縁油溶存ガスの増加	・油中ガス分析
	・絶縁紙の炭化	・部分放電測定 ・解体調査
過熱	・絶縁油溶存ガスの増加	・油中ガス分析
振動、熱伸縮	・ケーブルや接続部の損傷、変形	・X線撮影
	・ケーブル絶縁体の崩れ	・コアずれ測定
油槽、線路の負圧化	・絶縁耐力の低下	・油量計の確認
漏油	・絶縁耐力の低下	・油量計の確認
不純物の混入	・絶縁耐力の低下	・絶縁油分析
	・誘電正接上昇	

OFケーブルの電気特性はAC電圧に対し裕度をもっている。しかし、大きな油層などの欠陥が存在する場合、過電圧の侵入により欠陥部で部分放電が発生してガスが生じ、それが繰り返される場合には欠陥部にボイドとして残存する可能性がある。さらにボイドは絶縁耐力が著しく低いいため、AC電圧の印加により部分放電が継続することも考えられる。部分放電が継続すると、そのエネルギーにより絶縁紙が炭化する。炭化した絶縁紙は周囲と比較し誘電率が高く、その先端に電界が集中することでさらに部分放電が発生、炭化が進展し、やがてケーブルの絶縁破壊に至ると考えられる。

このように、線路運転中の熱挙動等により油浸絶縁体内部に大きな油層等の構造欠陥が形成された場合には電氣的弱点となるため、経年OFケーブル線路の破壊事例などの劣化特性は健全な線路と異なると考えられる。そこで、実系統で30年以上運用後に撤去された経年品を解体し劣化状況を調査するとともに、モデル試験によりOFケーブルの劣化メカニズムを検証した。

### 4. OFケーブルの劣化現象

#### 4-1 経年品撤去調査

経年OFケーブルの劣化状況を把握するため、実系統で約30年運用された接続箱を撤去し、解体調査した。特徴的な事象を以下に記す。

#### (1) ケーブルコア挙動の偏り

解体調査した経年OFケーブル接続箱の概要図と、アースワイヤー遮へい部およびセミストップ部の様相を図2に示す（経年32年の154kV 1×2000mm<sup>2</sup>OFケーブル用接続箱）。なお、当該接続部の油中ガス分析結果は、電気協同研究第70巻第1号「地中送電ケーブルの保全技術」<sup>(4)</sup>による判定では、劣化度合い4段階の内、最も程度の軽いD判定（アセチレン検出されず、可燃性ガス量132ppm）であった。

解体調査の結果、セミストップ部鉛管は施工当時の処理状況に比べ変形（凹み）が認められた。また、アースワイヤー遮へい部は軟銅線を隙間なく巻き付けて処理されるが、経年品には6mmの隙間が認められた。

マンホール形状やケーブル布設ルートなどの要因により接続箱両側のケーブルでオフセット反抗力<sup>\*1</sup>にバランス差が生じる場合、オフセット反抗力が弱い側へ、導体・絶縁体（ケーブルコア）がケーブル金属被に対し相対的に移動するコアずれ現象が発生する。コアずれの程度が大きい場合にはアースワイヤーやセミストップ部がケーブルコアの移動量に追従しきれず、歪みとして現れる。例えば図2の事例ではアースワイヤーの隙間とセミストップ部の変形から、紙面左側へコアずれが生じていたものと推定できる。

アースワイヤー遮へい部の乱れやセミストップ部の変形は接続箱外部からのX線撮影においても認められた（図3）。また、コア挙動の移動量が机上検討でも把握できていた。

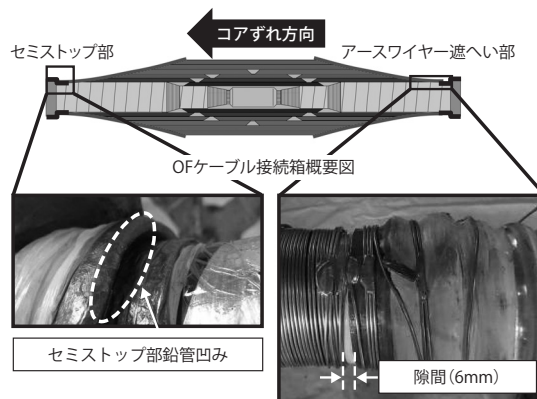


図2 OFケーブル用接続箱コア挙動痕跡の事例

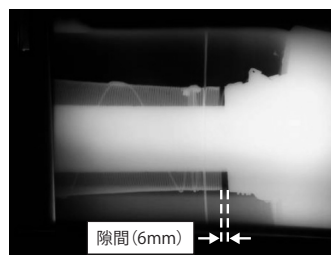


図3 アースワイヤー遮へい部のX線撮影結果

## (2) 絶縁紙の紙巻きギャップの広がり

OFケーブルの絶縁体はテープ状の絶縁紙を巻き付けて、絶縁油を含浸させることで構成される。その際、曲げ特性を向上させるため絶縁紙はラップさせず、ギャップを均等に設ける。また、ギャップ部は油層となるため、絶縁性能を確保することを目的に重なり厚さも管理されており、製造直後の紙巻きギャップは乱れていない。

経年OFケーブル接続箱のケーブル絶縁紙について絶縁紙紙巻きギャップ幅を調査すると、ギャップ幅が乱れている事例があった(図4)。黒く塗りつぶした部分がギャップで、導体側が均等に並んでいるのと比較し、点線で囲った部分は乱れた様相である。セミストップ下部の紙巻きギャップは広がっており、ギャップ幅の広がりには絶縁紙層の表面に留まらず、表面より内側の層のギャップ幅についても広がった様相が認められた。

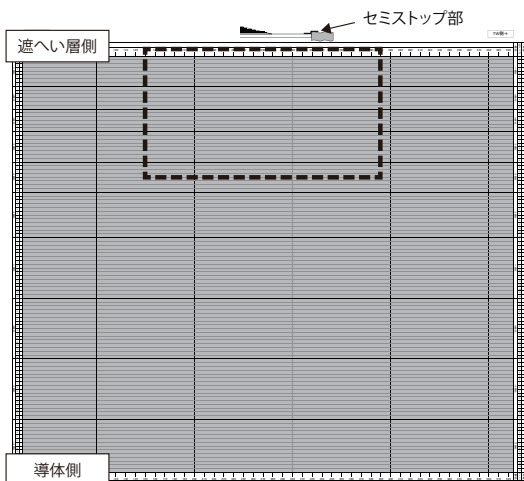


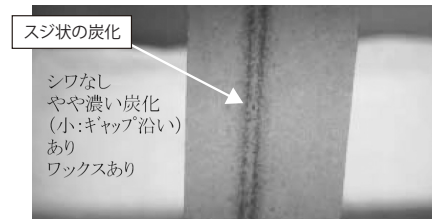
図4 OFケーブル絶縁体紙巻きギャップの広がり

ケーブル接続箱施工においては、絶縁油の仮止めを目的としてセミストップ部をかしめ処理している場合があり、外側の絶縁紙が拘束された状態でケーブルの熱伸縮が発生することにより絶縁紙の紙ずれが発生し、紙巻きギャップ幅が乱れたものと考えられる。紙巻きギャップが乱れるとケーブルの径方向にギャップ部が重なる、すなわち油層部が連なり油層厚が増す可能性があり、絶縁破壊強度の低下に繋がる<sup>(3)</sup>。

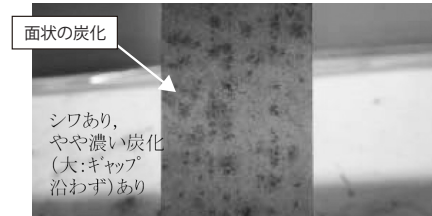
## (3) 絶縁紙の炭化およびワックス化

経年OFケーブルを解体調査した結果、絶縁紙の炭化が確認される場合がある。炭化事例を図5に示す((i)(ii):経年29年の275kV 1×800mm<sup>2</sup>OFケーブル用油中終端接続箱、(iii):経年32年の154kV 1×2000mm<sup>2</sup>OFケーブル用接続箱)。

図5(i)ではスジ状の炭化が認められた。スジ状の炭化



(i) スジ状の炭化<sup>(3)</sup>



(ii) 面状の炭化<sup>(3)</sup>



(iii) かしめシワに沿った炭化

図5 絶縁紙の炭化

は紙巻きギャップに沿っており、絶縁紙より絶縁特性が劣る油層部で部分放電が生じていたものと考えられる。炭化には紙巻きギャップに沿ったスジ状の炭化だけでなく、(ii)に示す面状に広がりを持つものも認められ、(i)に比べ激しい部分放電が生じていた様子が伺える。(iii)の事例では絶縁紙の幅方向に生じたシワに沿った炭化が認められた。このシワは、接続箱施工時にセミストップ部をかしめるため、絶縁紙が円周方向に絞られ、局所的にシワが生じたものと考えられる。このシワは微小な油だまり(すなわち油層部)を形成することから、部分放電が発生し、かしめシワに沿った炭化が生じたものと考えられる。

炭化はセミストップ部近傍に集中し、また、ケーブルの径方向に連なっていることが多く、セミストップ部での絶縁性能が低下している可能性がある。炭化部位は導電性となるため、通常の絶縁体としての特性を有しなくなるだけでなく、誘電率が増加し、炭化部の先端に電界が集中する。

また、OFケーブル絶縁紙を脱油後に染色液で染色すると、一部染色されないことがある。絶縁油は放電により固体に近い不溶なワックス状物質を作ることが知られており<sup>(3)</sup>、このワックス状物質が染色液に馴染まないため、染色の程度に差が生じるものである。ワックス化も絶縁紙の炭化と同様、部分放電によって生じるため、ワックス化と炭化の分布は一致することが多い。



このように解体調査によって炭化痕として部分放電の発生を確認できるが、油中ガス分析ではアセチレンなどのガスは検出されないこともあり、劣化進展の把握が困難な場合もある。

#### (4) 劣化メカニズムの推定

3章及び4-1項の(1)～(3)の調査結果などから想定される劣化メカニズムを以下に記す。

- ① 熱伸縮に伴うケーブル挙動によりコアずれが生じ、局所的な絶縁紙の紙ずれが発生することで紙巻きギャップがケーブルの径方向に連なり油層部が増す。
- ② 油層部が増した部分は絶縁性能が低下するため<sup>(3)</sup>、何らかの原因により部分放電が発生する。
- ③ 部分放電の発生により絶縁油または絶縁紙の劣化が進展し、絶縁耐力が低下する。
- ④ 部分放電エネルギーの増加で絶縁紙が炭化する。炭化部位の誘電率増加による電界集中、および絶縁耐力の低下により絶縁紙の局所破壊が生じる。
- ⑤ 上記②→③→④が繰り返されることで絶縁紙全体の破壊（ケーブル絶縁破壊）に至る。

#### 4-2 ミニモデルによる劣化メカニズムの検証

これまで、油層部が存在する場合でも実線路の運転条件において特性低下が生じる条件を明確に示したデータはなく、実験的な検証が必要と考えられる。そこで、ケーブルのミニチュアモデルケーブル（以下ミニモデル）を用いた検証試験を実施した。

##### (1) 部分放電発生状況の評価

###### (a) 試験方法

試験に用いた試料の概要を図6に示す。銅パイプ（約φ30mm）上にカーボン紙及び油浸絶縁紙（約2mm厚さ）を巻き付け、油層部の重なりを模擬した構造欠陥（約0.8mm厚さ）を設ける。

ミニモデルには、AC電圧に雷インパルス電圧を重畳させた電圧波形を印加する。また、印加電界は運転条件の範囲内としてACは12kV/mm、雷インパルスはLIWV<sup>\*2</sup>相当の50～70kV/mmとする。

また、部分放電により絶縁油が分解し、アセチレンや水素など各種ガスが発生しても通常は即座に絶縁油内に溶解するが、発生と溶解を繰り返すうちに絶縁油のガス吸収特性が低下すると考えられる。そこで、ミニモデル試料内の絶縁油にガスを多量に溶存させることでその状態を模擬す

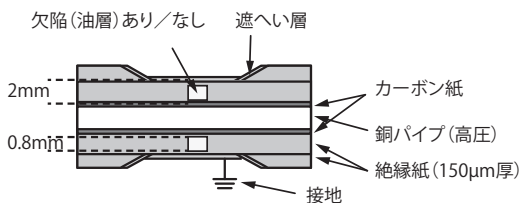


図6 ミニモデル概要図<sup>(5)</sup>

る試料も準備することとし、ガスは部分放電により発生する各種ガスのうち、取扱いの容易な二酸化炭素を選定し、溶解量は体積比率で約50～70%を目安とした。

##### (b) 試験結果

油層部の有無、AC電圧への雷インパルス電圧の重畳有無、ガス吸収特性の低下をパラメータとし、試験を実施した。結果を表2に示す。部分放電が2秒以上継続した場合を「連続発生」と定義した。

表2 部分放電発生状況の試験結果<sup>(5)</sup>

試験No.	構造欠陥	雷インパルスの重畳	ガス吸収特性低下模擬	部分放電発生状況
1	なし	重畳なし (AC単独課電)	なし	×
2			あり	×
3		重畳あり	なし	△
4			あり	×
5	あり	重畳なし (AC単独課電)	なし	×
6			あり	×
7		重畳あり	なし	△
8			あり	○

凡例) ○：連続発生、△：間欠発生、×：発生なし

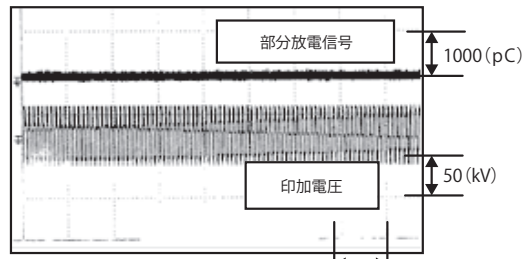
また、代表的な部分放電発生状況を図7に示す。構造欠陥（油層部）が無い試料（No.1～4）については、雷インパルスの重畳やガス吸収特性の状態に関係無く部分放電は連続発生に至らない。構造欠陥（油層部）を設けた試料については、雷インパルス電圧を重畳せずAC単独課電した試料（No.5、6）、または雷インパルス電圧を重畳するがガス吸収特性が低下していない試料（No.7）も部分放電は連続発生に至らない。しかし、ガス吸収特性が低下した状態で雷インパルス電圧を重畳した試料（No.8）においては、雷インパルス電圧の重畳を繰り返すと部分放電が連続的に発生することが確認された。

この結果より、部分放電が連続発生する条件を整理すると、「大きな油層（構造欠陥）」、「AC重畳インパルスの印加」、「絶縁油ガス吸収特性の低下」の3つの要素が揃った条件下において部分放電が連続発生に至ることがわかる。

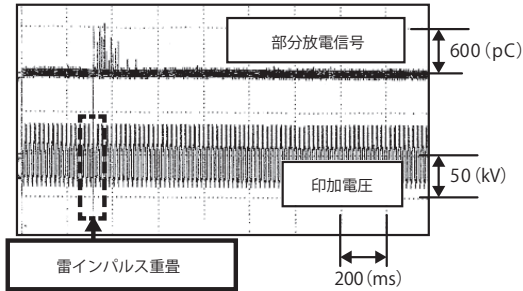
##### (2) 部分放電発生状況と溶存ガス量の評価

###### (a) 課題の整理

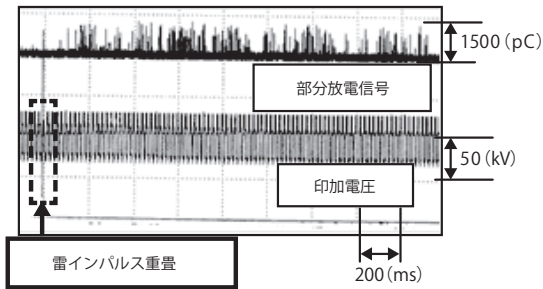
前述した部分放電が連続発生するための3要素が実線路で揃い得るのかについて考える。絶縁体中の大きな油層（構造欠陥）は4-1の(1)、(2)に示した通り、コアずれによって形成される可能性があり、雷インパルスの重畳についても線路に雷インパルスが繰り返し侵入する可能性がある。また、ガス吸収特性の低下については、部分放電発生時の生成ガスが絶縁油中に蓄積され、飽和溶解量を上回ると、溶解しきれないガスはボイド化する、或いは溶解量を上回らなくともガスの発生と溶解のバランスが崩れてボイド化し、絶縁油ガス吸収特性の低下に繋がる可能性がある



(a) 部分放電発生なし



(b) 部分放電が間欠的に発生



(c) 部分放電が連続的に発生

図7 ミニモデル試料の部分放電発生状況<sup>(5)</sup>

と考えた。しかし、4-2の(1)ではガス吸収特性が低下した状態を模擬するため、強制的に二酸化炭素を溶解させたものの、実線路で起こりえる現象であるか、これまでに評価した事例はない。そこで、油層部における部分放電によって発生するガスの溶存量を定量評価した。

(b) 試験方法

試験に用いた試料の概要を図8に示す。図6と同様の構造だが、欠陥は銅パイプ直上に設け、銅パイプ内側に施した採油管(φ1mm)を通して欠陥部の油を直接採取できる構造とした。

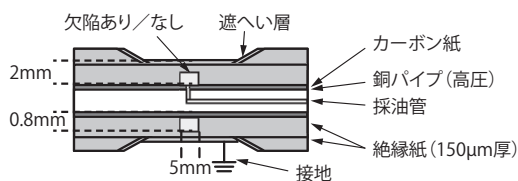


図8 採油型ミニモデル概要図<sup>(6)</sup>

各電圧階級におけるAC電界強度、雷インパルス電界強度の代表値を表3に示す。表3をもとに、AC電界強度(運転電圧相当)、雷インパルス電界強度(LI WV相当以下すなわち実線路で侵入しうる電圧相当)、雷インパルス印加回数をパラメータとして部分放電の発生状況を評価した。

表3 OFケーブル実線路のAC、インパルス電界強度(一例)<sup>(6)</sup>

	AC(運転電圧)	雷インパルス(LI WV)
77kV級	7 kV/mm	60 kV/mm
154kV級	10 kV/mm	70 kV/mm
275kV級	13 kV/mm	80 kV/mm

(c) 試験結果

試験結果を表4に示す。部分放電が連続発生に至った試料(No.1~No.4)については、欠陥部に多量の水素、アセチレン(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)が蓄積されていることが確認できた。部分放電が間欠的に発生した試料(No.5~No.8)についても、連続発生に至っている試料ほどではないが、相当量の水素、アセチレンが欠陥部に蓄積されている試料もある。一方、雷インパルス印加後に部分放電が発生しなかった試料(No.9~No.11)についても同様に水素、アセチレンが検出されているが、試料No.9、No.10は他試料と比べて検出量が小さい。試料No.11については雷インパルスを1,000回印加しており、雷インパルス印加時のエネルギーで発生した水素およびアセチレンが1,000ppm以上蓄積されている。

表4 試験結果<sup>(6)</sup>

No.	AC(kV/mm)	雷Imp(kV/mm)	雷Imp印加回数	欠陥部溶存ガス(ppm)		部分放電発生状況
				H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	
1	13	45	334	18,667	13,333	○
2	13	45	352	31,333	16,000	○
3	10	50	704	30,000	14,000	○
4	7	60	277	8,300	4,500	○
5	7	50	500	4,300	3,000	△
6	13	40	500	470	140	△
7	10	50	100	1,400	880	△
8	10	40	400	71	57	△
9	13	45	100	65	78	×
10	10	40	100	15	40	×
11	7	50	1000	2,000	1,100	×

凡例) ○:連続発生、△:間欠発生、×:発生なし

また、雷インパルス電圧の印加回数と水素、アセチレン発生量の関係を図9、図10にそれぞれ示す。AC課電に重畳する雷インパルス電界強度が40~45kV/mmの場合、雷インパルス印加回数が100回までは雷インパルス印加後の部分放電の発生はほとんどなく、検出ガス量も少ない。雷インパルスを繰り返し印加することにより、雷インパルス印加後の部分放電が間欠的に発生することで検出ガス量も

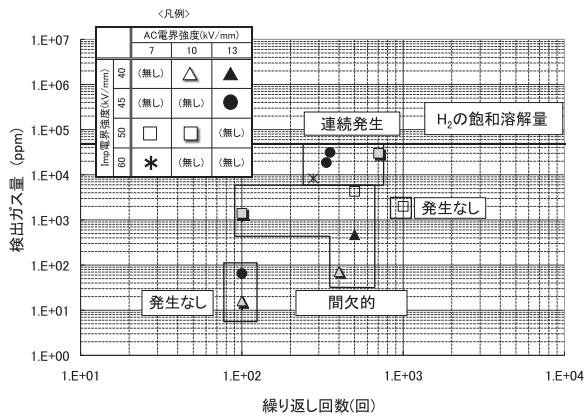


図9 雷インパルス印加回数と水素発生量の関係<sup>(6)</sup>

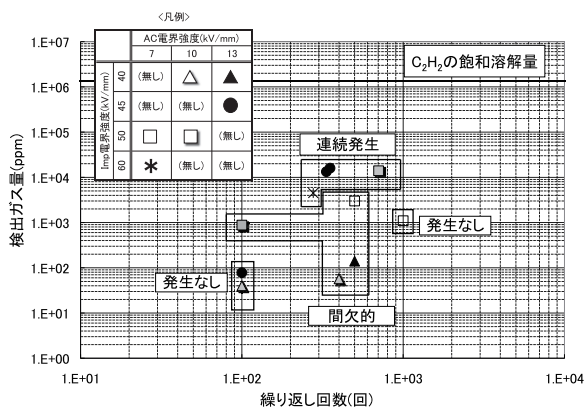


図10 雷インパルス印加回数とアセチレン発生量の関係<sup>(6)</sup>

増加し、水素が数万ppm程度まで蓄積されると部分放電が連続発生に至ることが確認できる。

なお、部分放電により発生する各種ガスのうち、水素の飽和溶解度は最も小さく5vol% (50,000ppm) であり<sup>(7)</sup>、最も飽和しやすいと考えられる。アセチレンについても、部分放電が連続発生に至ると10,000ppmを超える量が検出されているが、アセチレンの飽和溶解度は120vol% (1,200,000ppm) であり<sup>(7)</sup>、飽和溶解度に対しては十分裕度があることから、部分放電により発生した水素が飽和状態あるいはそれに近い状態となり、絶縁油のガス吸収特性が低下してボイド化に至ったものであり、実線路で実際に起こりえる現象を再現できたと考えられる。

## 5. 結 言

経年撤去品の解体調査の結果、ケーブルコア挙動や絶縁紙の炭化、紙巻きギャップ乱れなどの劣化の兆候が確認された。絶縁紙の炭化が進行しているケースもあり、初期状態から絶縁性能が低下している可能性も考えられる。

また、ミニモデル試験の結果、部分放電が連続発生に至るためには「大きな油層 (構造欠陥)」・「AC重畳インパルスの侵入」・「絶縁油ガス吸収特性の低下」の3条件が必要であることがわかった。また、ガス吸収特性の低下は溶存ガスが飽和状態に近くなることにより、ガスの発生と絶縁油中への溶解のバランスが崩れ、ボイド化することで部分放電が連続発生に至っている可能性があることがわかった。以上より明らかとなった劣化フローを図11に示す。

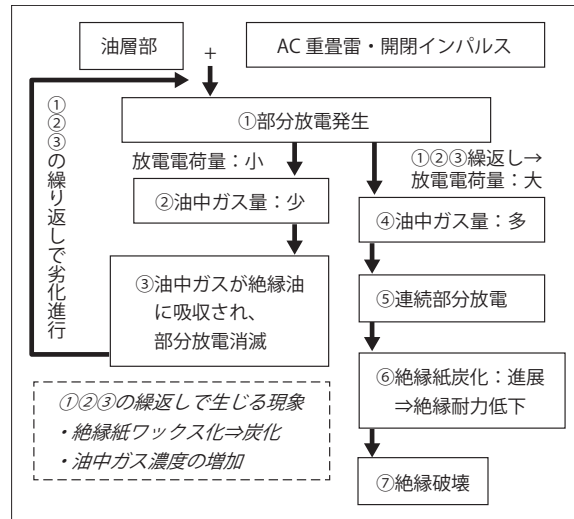


図11 OFケーブル想定劣化フロー

従来は、OFケーブルの劣化はかなり緩やかと考えられてきたが、調査の結果、条件によっては劣化が進行する可能性があることがわかった。現在でも送電設備において油中ガス分析などは実施されているが、欠陥部に局所的にガスが蓄積されている可能性があり、その場合には欠陥部の油を直接採油できておらず劣化の進展を必ずしも把握できるとは言えない。そのため、条件に合致する設備や異常の発生している設備を把握することを目的に、X線調査によるコアずれ診断や部分放電測定などの診断を組合せ、保守管理するとともに、計画的な更新も必要と考えられる。

最後に、撤去品調査データ等をご提供頂いた関西電力㈱の関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

## 用語集

### ※1 オフセット抵抗力

ケーブル接続部の両側でケーブル伸び出しの吸収のためにオフセット部を設けることがある。オフセット抵抗力とは、ケーブルが伸び出してくる軸力に対し、オフセット部で反発する力のこと。

### ※2 LIWV

Lightning Impulse Withstand Voltageの略。雷インパルス耐電圧。送電系統は、線路に侵入する雷インパルス電圧がこの値を超えることの無いよう避雷器等で保護されている。

## 参考文献

- (1) 電力ケーブル技術ハンドブック、電気書院
- (2) JEC 3401:2006、OFケーブルの高電圧試験法、電気書院
- (3) 斎藤幸男、武祐一郎、電気絶縁紙、コロナ社（1969年）
- (4) 電気協同研究第70巻第1号、地中送電ケーブルの保全技術、電気協同研究会
- (5) 井上雅弘、城唯彦、西川毅、相原靖彦、堤貴彦、秋田浩二、OFケーブルの部分放電劣化特性評価、電気学会全国大会（2012）
- (6) 井上雅弘、城唯彦、飯田智雄、堤貴彦、秋田浩二、坂口恭生、OFケーブルの油層部における部分放電劣化特性評価、電気学会論文誌B, vol.133, No.8（2012）
- (7) 石油学会編、電気絶縁油ハンドブック、講談社サイエンティフィク（1987年）

## 執筆者

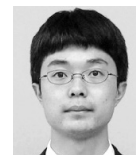
堤 貴彦\*：(株)ジェイ・パワーシステムズ  
電力事業部



宮田 佳昭：(株)ジェイ・パワーシステムズ  
電力事業部



鈴木 公三：(株)ジェイ・パワーシステムズ  
電力事業部



岡本 岳：(株)ジェイ・パワーシステムズ  
電力事業部 マネージャ



坂口 恭生：(株)ジェイ・パワーシステムズ  
電力事業部  
スペシャリスト



長谷川隆章：(株)ジェイ・パワーシステムズ  
電力事業部 部長



\*主執筆者