



Title	CVケーブルの絶縁破壊要因の究明と絶縁破壊性能の向上
Author(s)	八束, 健; 岸, 幸治
Citation	電気材料技術雑誌. 1992, 1, p. 22-26
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/81542
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

CVケーブルの絶縁破壊要因の究明と絶縁破壊性能の向上

八 束 健、岸 幸 治

住友電気工業株式会社 電力システム技術研究所
〒554 大阪市此花区島屋1-1-3

Study of the Breakdown Cause and Progress of Breakdown Strength of XLPE

Ken Yatsuka and Koji Kishi

Electric Power System Technology Research Laboratories,

Sumitomo Electric Industries, Ltd.

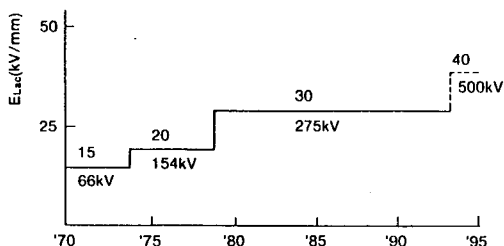
1-1-3, Shimaya, Konohana, Osaka, 554

The development of XLPE (crosslinked polyethylene cable) cable has occurred rapidly in the last 20 years in Japan. Operating Voltage has increased, and better reliability of insulation properties is now sought. The breakdown phenomenon of XLPE cable insulation is caused by defects in the insulation and on the inner and the outer semiconducting layer. The elimination of these defects can greatly increase the insulation properties of XLPE cable. And we try to eliminate these defects and search for new materials in order to get higher electrical breakdown strength.

キーワード：CVケーブル、架橋ポリエチレン、前駆遮断法、部分放電

1. はじめに

1957年ごろポリエチレンの耐熱性を向上させる目的でポリエチレンを架橋する技術が開発され、世界に先駆け我国でCV(架橋ポリエチレン絶縁)ケーブルが3～6kV配電用として実用化された。

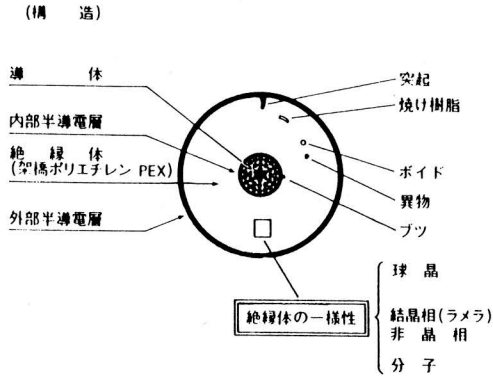


第1図 CVケーブルの性能向上の変遷

Fig.1 The Highest Operating Voltage of XLPE Cables

その後、CVケーブルの製造技術の改良が進み、使用電圧は第1図に示すようにこの30年で急速に

上昇してきている。製造技術改良のポイントは絶縁体である架橋ポリエチレン中の欠陥をいかに減らすかという点であったといえる。CVケーブルの絶縁体である架橋ポリエチレンの電気性能は非常に優れたものであるが、第2図に示すような異物、ボイド、半導電層の突起などの欠陥が絶縁体本来の性能を阻害してきた。CVケーブルの製造技術改善に伴って、最低破壊電界強度 E_L は第1図の通り年々上昇し、今後も向上が期待できる。500kV CVケーブル絶縁厚の当面の目標は、半合成紙を用いた最新の500kV OFケーブルであり、その絶縁厚さは25mmである。使用電圧の上昇に伴って、絶縁体の破壊強度を改良する努力を行ってきたことにより、日本のCVケーブル技術は運転電界でも信頼性でも世界最高のレベルに達しているといえる。さらに絶縁体を高性能化するため、欠陥を極限まで減らす努力とともに、絶縁材料自体の結晶構造の改良や新種材料の探索が行われている。

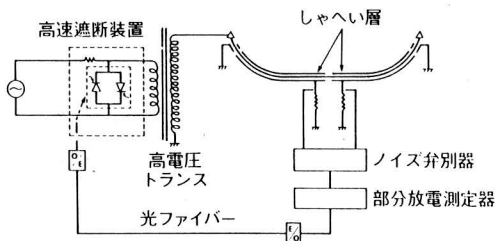


第2図 C Vケーブルの欠陥
Fig.2 Performance of XLPE Cables

2. 欠陥除去による高性能化

(前駆遮断法による欠陥検出)

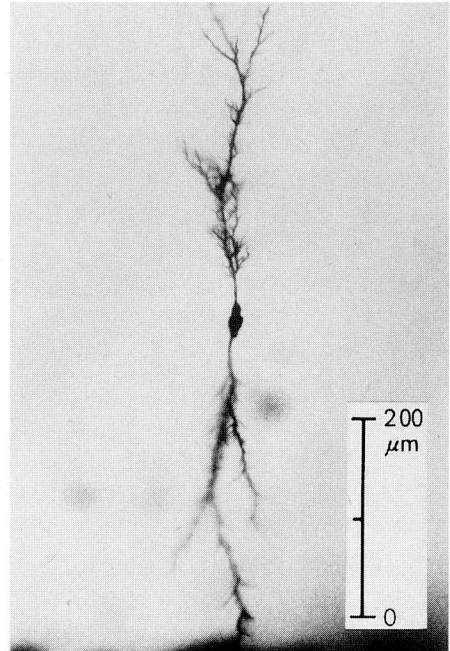
従来から、絶縁破壊の起点となる欠陥を見つけ、欠陥を除去することによって絶縁性能を向上させる工夫と努力がなされてきた。通常、ケーブルの破壊試験では、破壊時に欠陥も焼損してしまうため、破壊を引き起こした欠陥そのものを観察することができなかった。そこで、破壊孔の焼損を抑え、欠陥そのものを残すために遮断速度を速くしたり、破壊孔に流れる電流を抑制することによって、焼損エネルギーを抑制する工夫が行われてきた。ところが、これらの方法では大きな欠陥に対しては有効であるが、ケーブル長が長く、静電容量が大きい場合や、欠陥が小さく破壊電圧が大きい場合には焼損エネルギーも大きくなるため、欠陥の究明が困難であった。そこで絶縁体が全路破壊する前の部分破壊の段階で、印加電圧を取り除く前駆遮断法を開発した。



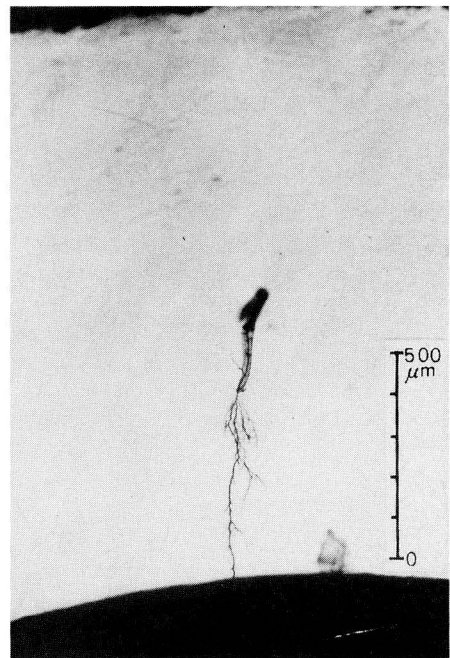
第3図 前駆遮断装置の概要
Fig.3 Outline of the PPD method

2-1. 前駆遮断装置の概要

本装置は絶縁体が破壊する際に、電気トリークが進展し部分放電パルスが発生することに着目



第4図 前駆遮断試験で検出された異物の例
(金属異物)
Fig.4 Example of an Metal Impurity found

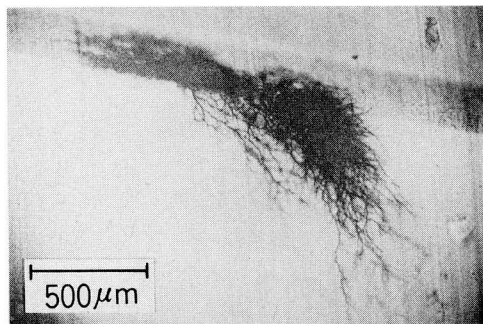


第5図 前駆遮断試験で検出された異物の例
(繊維異物)
Fig.5 Example of an Fibrous Impurity found in a Model Cable

したもので、装置の概要を第3図に示す。構成は部分放電検出部、判別部と前駆遮断装置に組み込まれたサイリスタを駆動する遮断信号発生部、遮断部、高電圧発生部から成っている。部分放電の計測の際、ケーブルの外部から入ってくるノイズ、例えば気中ノイズ、ラジオノイズやスイッチングノイズなどを部分放電と同時に計測することが不可避である。そこで、ケーブルの絶縁体から発生する部分放電だけを計測するためにノイズ弁別器を使用している⁽¹⁾。本装置をケーブルの破壊試験に適用し、破壊の前駆現象である部分放電パルスを検出すると同時にトランスの電源を短絡遮断する。その後、部分破壊を起こした部分放電発生位置を評定し、絶縁体を顕微鏡や分析装置で調査することによって、欠陥が何であるか調査する。

2-2. 前駆遮断法による欠陥検出について

絶縁厚1.5mm及び3mmのケーブル長(有効電極長)5mのモデルケーブルの破壊試験に前駆遮断装置を適用し、絶縁破壊要因の究明を試みた例について紹介する。検出された欠陥は異物が大半を占めており、その材質は繊維あるいは金属であった。その他の欠陥としては内部半導電層突起、外部半導電層突起などが検出されており、これまで見ることのできなかった数十ミクロン級の小さな欠陥を直接目で見る事ができるという成果が得られた。第4図、第5図に摘出した欠陥例を示す。また、今回得られた結果より、いずれの場合も、電界の局所集中部より電気トリが発生していることが分かった。さらに、得られたデータから、ケーブル中の欠陥を小さく、かつ低減することにより究極性能と

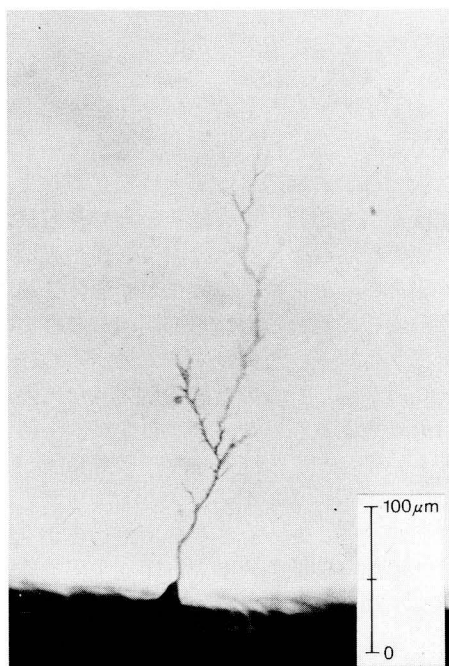


第6図 EMJ界面マイクロボイドより発生した電気トリ

Fig.6 Electrical Trees from Micro-cavities on the interface

しては数100kV/mmの破壊電界強度が期待できると考えられる。

一方、接続部においても性能低下要因を調査するため前駆遮断法を適用し、欠陥検出を試みた例について紹介する。課電サンプルは22kV級押出モールド型接続部(EMJ)を用いたもので、欠陥は第6図に示す界面マイクロボイドや第7図に示す突起が検出されている。マイクロボイドはケーブル絶縁体と押出補強絶縁層の界面に存在しているもので前駆遮断により界面部からスタートした電気トリを検出している。また、突起はケーブルの外部半導電層を除去した後、接続用遮蔽層を取り付けた部分に検出されたもので突起先端部から電気トリが進展していることを検出している。



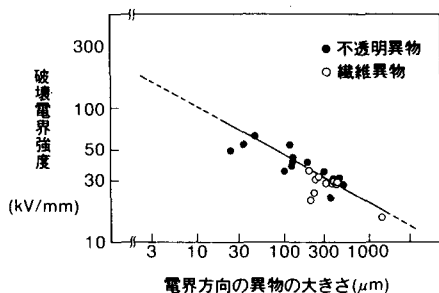
第7図 突起先端より発生した電気トリ

Fig.7 Electrical Trees from Projection

2-3. 欠陥と破壊性能について

ケーブルの破壊試験に前駆遮断法を適用した際に得られた欠陥の大きさと遮断電界の関係をまとめたのが第8図であり、欠陥の大きさと電気性能には密接な相関があることがうかがえる。以上の結果より、定性的には欠陥サイズを小さくすることによってCVケーブルの初期破壊値が向上することが分かってきたので、ケーブル

に使用する原材料及び製造設備の防塵対策を強化しケーブル絶縁体本来の性能を引き出せるよう努力している。ただし、実際に絶縁体の破壊電界強度を評価する場合、厳密には欠陥部の先端部電界強度で論じられるべきである。つまり、ケーブル中の金属異物を回転楕円体と見なした場合、電界の集中度合は金属異物の長軸半径と先端曲率半径の比から決まり、欠陥の大きさだけではなく欠陥形状が性能を決定する要因となるからである⁽²⁾。



第8 欠陥の大きさと破壊電界強度の関係

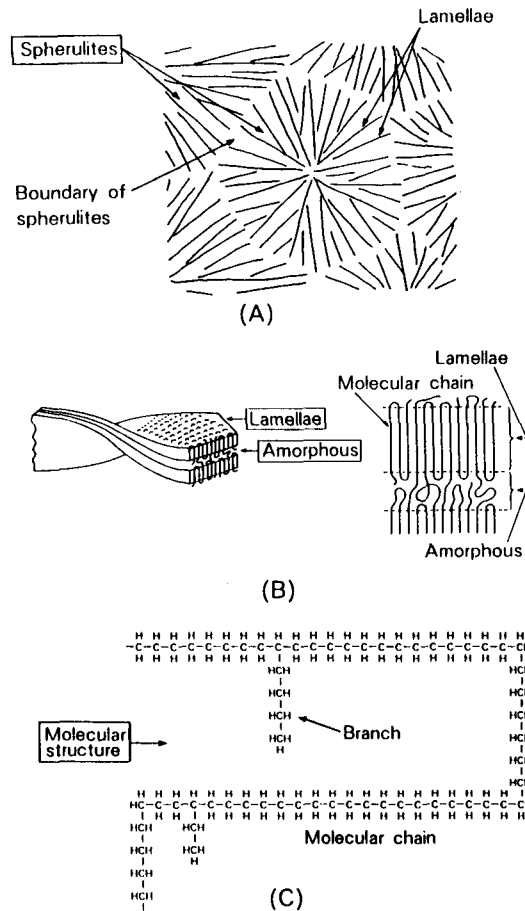
Fig.8 Influence of Impurity Size on Breakdown Stress

一方、接続部においてはケーブル絶縁体と押出補強絶縁体界面に存在するマイクロボイド、突起が破壊性能を低下させる原因となることが判明したので、マイクロボイドの対策としては、押出、架橋時の温度、圧力条件を適切に選定し良好な界面接着状態を確保することより、一方、突起に対しては絶縁界面部に鏡面仕上げ法を適用することにより性能向上策の効果を既に確認している。なお、接続部に関してはケーブルで得られた欠陥と破壊性能との関係といった明確な関係は得られておらず、今後さらなるデータ蓄積が必要となる。

3. 新種絶縁材料による高性能化

前項では欠陥を除去することによる絶縁性能向上策について述べてきたが、工業製品として極限まで低減された絶縁体の性能の向上をはかるには絶縁体そのものの特性を向上させる必要がある。

種々のポリマーをケーブル絶縁材料に必要な破壊強度、誘電特性、体積抵抗、機械的強度、(伸び、引張強度、弾性係数)、融点(または軟化点)で評価してみるとポリオレフィン系及びフッ素樹脂系の材料(特に直鎖状ポリエチレン：L-LDPEとポリプロピレン：PP)が総合的に優れていることが分かっている。



第9 ポリエチレンの高次構造

Fig.9 Supramolecular Structures of PE

ポリエチレン、ポリプロピレンなどの結晶性ポリマーは「分子構造」「結晶構造→ラメラ構造」「球晶」「配向」などの階層的構造をもっている(第9図)。低位な構造から順に一次構造、二次構造、三次構造・・・と呼ばれるが、二次以降の構造を「高次構造」と総称することが多い。ポリマーの破壊強度はより高位な構造の影響が強く、絶縁体の破壊強度は主として前項で述べた欠陥の影響に加え、配向、球晶、ラメラの厚みなどのポリマーの高次構造で決定される。

従ってL-LDPE、PPの高次構造制御によってCVケーブルを上回る性能を追求する研究を進めており、現在までに球晶の成長抑制により小球晶化したL-LDPEではトリ－発生電界が上昇するといった結果が得られている⁽³⁾。

以上、CVケーブルの欠陥除去と絶縁材料構造の改良による高性能化についてまとめたが、架橋

ポリエチレンは優れた絶縁材料であり、ケーブル絶縁材料として当面は架橋ポリエチレンが主流に使われていくものと考えている。今後は欠陥レス化のための大量生産技術と絶縁材料自身の強度を向上させる結晶構造の改良、高分子の分子設計技術確立などの技術開発が課題として挙げられる。

参考文献

- (1) Miller et al. IEEE Trans. EI-12, No. 3, P224, 1977
- (2) 電気協同研究 第34巻 第1号 1978
- (3) T. Kubota et al. Proceedings of The 3rd ICPADM, P1173, 1991
(1992年1月10日受理)



八束 健

昭和24年9月7日生。昭和50年3月大阪工業大学工学研究科電気工学専攻修士課程終了。同年住友電気工業㈱入社。現在、電力システム技術研究所主任研究員。主として電力ケーブルの研究に従事。



岸 幸治

昭和40年8月1日生。平成2年3月東京農工大学工学研究科電気工学専攻修士課程終了。同年住友電気工業㈱入社。現在、電力システム技術研究所勤務。主として電力ケーブルの研究に従事。