

直流き電ケーブルの地絡検出手法

電力技術研究部 き電研究室

主任研究員 重枝 秀紀

1. はじめに

架橋ポリエチレン電力ケーブル（以下、電力ケーブルと表す）は、その高い絶縁性能によって電線路と周囲との離隔縮小を可能とし、変電所など電力設備の省スペース化に大きく寄与することから、直流き電回路においても変電所内外の電線路に数多く使用されている。本発表では、このような用途に用いられる電力ケーブルを直流き電ケーブルと称する。

直流き電ケーブルは、基本的に交流用途の電力ケーブルと同等の構造であるが、交流用ケーブルと異なり金属の遮へい層を有していない。このため、交流用途で実績がある遮へい層を利用した劣化診断手法が適用できない。また、同様の理由によって直流き電ケーブルに絶縁破壊などの故障が発生してもその検出が困難である場合が多い。こうした課題を踏まえ、設備の信頼性向上を図る目的で直流き電ケーブルの劣化・故障検出手法に関する研究開発を実施した。

2. ケーブルの劣化要因

2.1 ケーブルの構造

高圧以上の電圧で一般的に使用される電力ケーブルの代表的な構造を図1に示す。直流き電ケーブル（図1(b)）は、交流用ケーブル（図1(a)）と異なり絶縁体とシースの間に遮へい層が存在しない。遮へい層を設けない理由はいくつかあるが、結果として直流き電ケーブルは絶縁電線と類似したものとなり、交流用ケーブルのように遮へい層を利用した劣化診断・故障検出手法が適用できないという課題がある。

2.2 ケーブルの劣化メカニズム

一般的な電力ケーブルの劣化事象としては、代表的事象である水トリーのほか、異物・ボイド・損傷などによる部分放電やトラッキング、過電流などによる絶縁体熱劣化、化学トリー、遮へい層の腐食・破断、シースのシュリンクバックなどがある。

水トリー劣化について、理想的な直流電圧のもとでは絶縁体中で水トリーの成長が進まないことが知られている。一方、整流器の出力電圧には高調波成分が含まれており、水トリーの成長に影響する可能性があるが、整流器の直流出力電圧に重畳する高調波電圧は小さく、直流き電ケーブルにおいて水トリーや部分放電による絶縁体の劣化は極めて希な現象と考えられる。

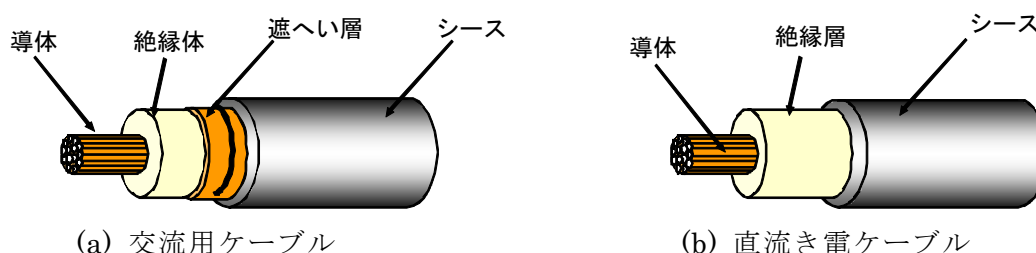


図1 電力ケーブルの構造例

3. 直流き電ケーブルの劣化調査

3.1 調査の目的と概要

直流き電ケーブル（以下、単にケーブルと表す）について、実際に使用されたケーブルの劣化状況を把握するとともに、劣化診断手法として有効な検査方法を探る目的で、使用後に撤去された表 1 に示すケーブルの提供を得て、これらに対して表 2 に示す 11 項目の調査を行った。

3.2 調査結果

調査結果を表 2 にあわせて示す。いずれも初期の規定値等から大きな変化はなく、約 11 年の使用による劣化の兆候は認められなかった。また、絶縁体の熱履歴はいずれの試料も 60℃程度であり、許容温度上限（90℃）に対して余裕がある結果であった。

調査において唯一経年による変化が認められたシース可塑剤残存量について、製造時の可塑剤量を初期値とすると、調査したケーブルのシース可塑剤は全て 2%程度減少していた。可塑剤は経時とともに徐々に揮散するものであり、この減少量は 11 年の経年によるものと考えている。可塑剤の割合が減少すると、シースが硬化して亀裂などの異常が生じ、これが絶縁体劣化の引き金となる可能性がある。

今後、さらに長期間にわたって使用されたケーブルを調査すれば新たな知見が得られる可能性はあるが、今回の調査結果からはケーブルの劣化診断指標となりそうな項目は見当たらなかった。

表 1 調査に供したケーブル

No.	ケーブル種類	使用年数	布設場所	電流履歴 ※
試料①	1500V Al-CV 500mm ² ×1 条	約 11 年	屋外（き電引出鉄構）	約 3000A
試料②	上に同じ	上に同じ	屋内（ケーブル洞道）	上に同じ
試料③	上に同じ	上に同じ	屋外（き電引出鉄構）	約 7000A
試料④	上に同じ	上に同じ	屋内（ケーブル洞道）	上に同じ

※電流履歴：ケーブル撤去直前の 1 年間における回線電流の最大値（1 回線につきケーブル 4 条を使用）

表 2 調査項目および結果

調査項目	確認・判定事項	調査結果
解体調査	使用による異常の有無	異常なし
構造検査	寸法変化等の有無	異常なし
導体抵抗測定	規定の導電性能の有無	劣化認められず
絶縁抵抗測定	規定の絶縁性能の有無	劣化認められず
交流耐電圧測定	規定の絶縁性能の有無	劣化認められず
交流破壊試験	絶縁耐力の低下度合い	劣化認められず
絶縁体の物性試験	絶縁体物性の劣化度合い	劣化認められず
熱履歴調査	絶縁体が曝された熱履歴（最高温度）	60℃程度
可塑剤残存量調査	シース可塑剤量の減少度合い	経年により減少
熱老化試験	絶縁体の残存寿命	劣化認められず
酸化誘導時間測定	絶縁体の酸化防止剤残存量	劣化認められず

4. 直流き電ケーブルの地絡検出

4.1 電圧検知による地絡検出

ケーブルは、一般に図 2 に示すようにクリートと呼ばれる絶縁性の部材によって支持されている。しかしながら、ケーブルやクリートの表面に水分などが付着すると表面の漏れ抵抗が減少し、ケーブルの絶縁破壊時にはクリート表面を経て構造物へと漏れ電流が流れるようになる。その際、クリート部においてケーブル表面と構造物との間に大きな電圧が生じると考えられ、その電圧によって地絡故障を検出する手法を、本発表では電圧検知型手法と称する。

本手法の原理に基づいて試作した地絡検出装置の動作原理を図 3 に示す。本装置は、クリート部に設けた電極と構造物（またはアース）との間に生じる電圧を検知する電圧検知部と、電圧検知部からの検知信号を受信して接点出力を行う受信部で構成される。本装置について、図 4 のようにケーブルを人工的に絶縁破壊させた模擬地絡試験を行い、電極に現れる電圧および受信部の接点出力を測定した。測定結果の一例を図 5 に示す。本例では、電極電圧が約 300V (293V) に達した時点で受信部が接点を動作させたことがわかる。接点動作までに表面を流れる漏れ電流は微弱であり、絶縁破壊箇所を含めて加圧中に表面から発煙・発火するような兆候はなく、試験後の目視検査においても電流が流れた痕跡は認められなかった。

本手法はクリートに検出部を設けるものであり、地絡電流が微弱な初期の故障段階でも検出できるものと期待される。また、クリートで支持される電線路であれば任意の場所に適用可能であり、故障検出箇所の特定も容易である。その反面、検出部の数量が多くなり施工性や経済性の面で課題がある。いずれにせよ、本手法の適用においては電圧検出回路や電極を内蔵または一体化したクリートの開発が求められる。

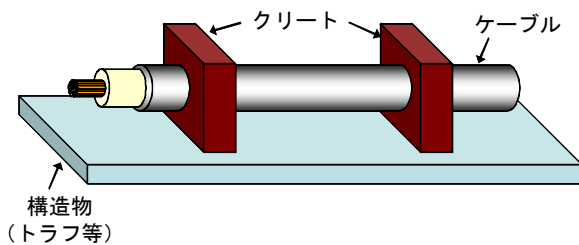


図 2 ケーブルの布設例

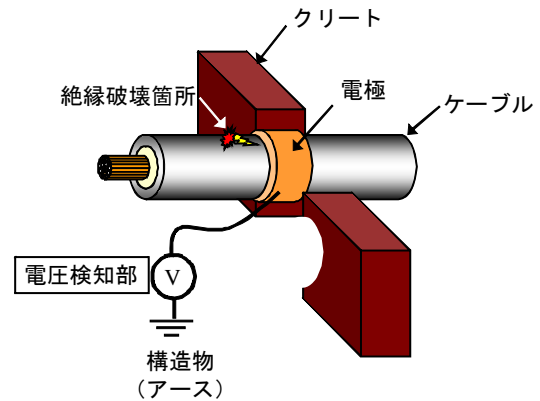


図 3 地絡検出装置の動作原理



図 4 模擬地絡試験の状況

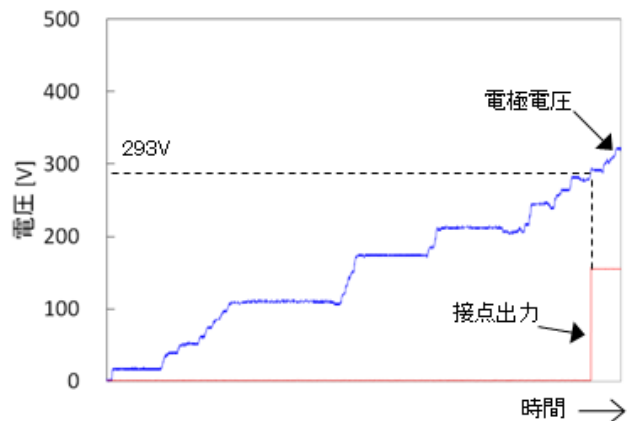


図 5 地絡検出装置の検証結果

4.2 電流検知による地絡検出

図6のように変電所構内のケーブルにおいて地絡故障が発生した場合、故障電流は変電所のアースから大地を経由してレールに流入し負極回路へと戻るため、送出電流と帰還電流との間に差分が生じる。この差分電流によって地絡を検出する手法を、本発表では電流検知型手法と称する。

本手法では検出部の長さが10mの紐状のログスキーコイルを試作し、これを変電所構内と構外の境界にて正極回路と負極回路に一括して巻き付けることによって、変電所構内の地絡故障電流を検出する方法を検討した。本手法適用時のイメージを図7に示す。試作したログスキーコイルについて、図8に示す検証試験を行った。健全時を模擬した図8(a)の場合、差分電流は本来0Aであるがログスキーコイルには600Hzで2A相当の出力があった。地絡故障を模擬した図8(b)の場合、差分電流は600Hzで0.2Aであるがログスキーコイルで検出した電流は3.4A相当であった。結果として、試作したログスキーコイルは地絡による高調波電流の増加を検出できるが、その出力には誤差があり故障電流がある程度以上でないと故障判定ができない可能性がある。

本手法は機器構成が簡素であり比較的lowコストで適用できると考えられるが、故障箇所の特定は困難であり、故障点の探索手法を別途検討する必要がある。また、電力ろ波器を備える変電所では高調波電流が抑制されるため、差分電流検出のさらなる高精度化が必須である。

5. まとめ

以上、直流き電ケーブルの劣化診断および故障検出手法について報告した。要約を次に示す。

- (1) 使用済みケーブルについて劣化調査を行った結果、明確な劣化の兆候は認められなかった。
- (2) 地絡故障検出手法として電圧検知型と電流検知型の2方式を提案し、基礎検証を行った。

本発表で提案した検出手法については可能性を示したものであり、実用化に向けては検出精度やコストについて更なる検討が必要と考える。

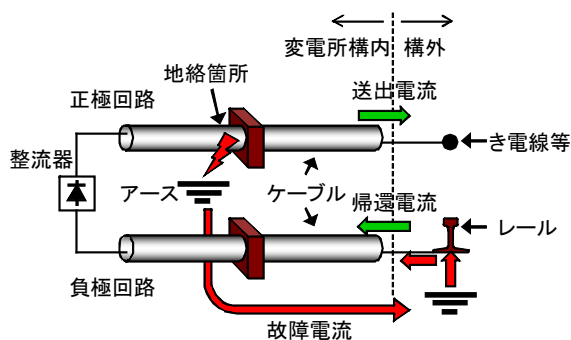


図6 地絡故障時の故障電流経路

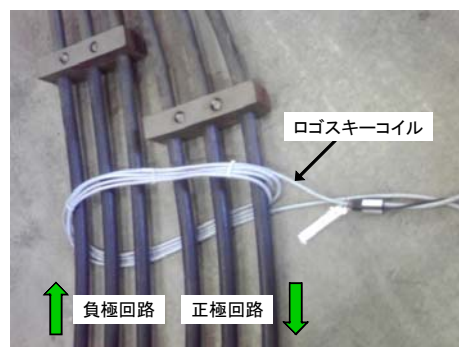


図7 電流検知型手法適用のイメージ

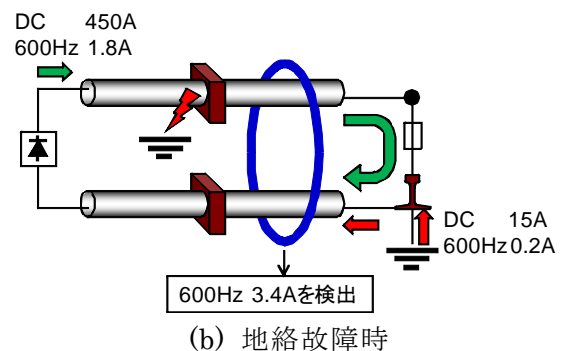
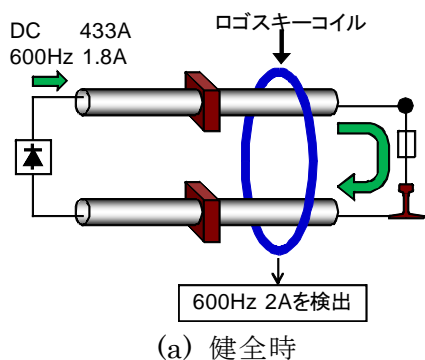


図8 電流検知型手法の検証条件および結果