

NITEが実施した事故実機調査について

令和2年(2020年)4月14日

独立行政法人製品評価技術基盤機構(NITE)

1. これまで

- 電気関係報告規則に基づく電気事故(以下「重大事故」という。)は、毎年500件前後発生しているが、近年は横ばい傾向にある。
- NITEは平成28年度から重大事故等の統計分析業務を開始。これまでの分析により、重大事故のうち約6割は自家用電気工作物に起因する事故であり、また、事故原因が究明されていないケースが多いことがわかってきている。
- 事故原因が究明されない理由として、特に自家用電気工作物の設置者にあっては、重大事故を起こした場合、周辺への停電等の影響を回避するため、事故製品の交換等といった復旧作業を第一に行う傾向にあって、事故原因の究明にまで着手できないのではないかと推測した。
- そのためNITEでは、令和元年度から重大事故の事故原因分析を開始した。今後、関係機関でその原因や再発防止対策を共有していくことで、重大事故が減少していくことに資するものと期待する。

<重大事故の事故原因分析について>

対象: 自家用電気工作物

受付件数: 70件(令和2年3月末時点)

特に受付件数が多い電気工作物: 区分開閉器(31件)、高圧ケーブル(19件)

NITEへ調査依頼を行った理由: 事故原因の究明、再発防止対策の検討等

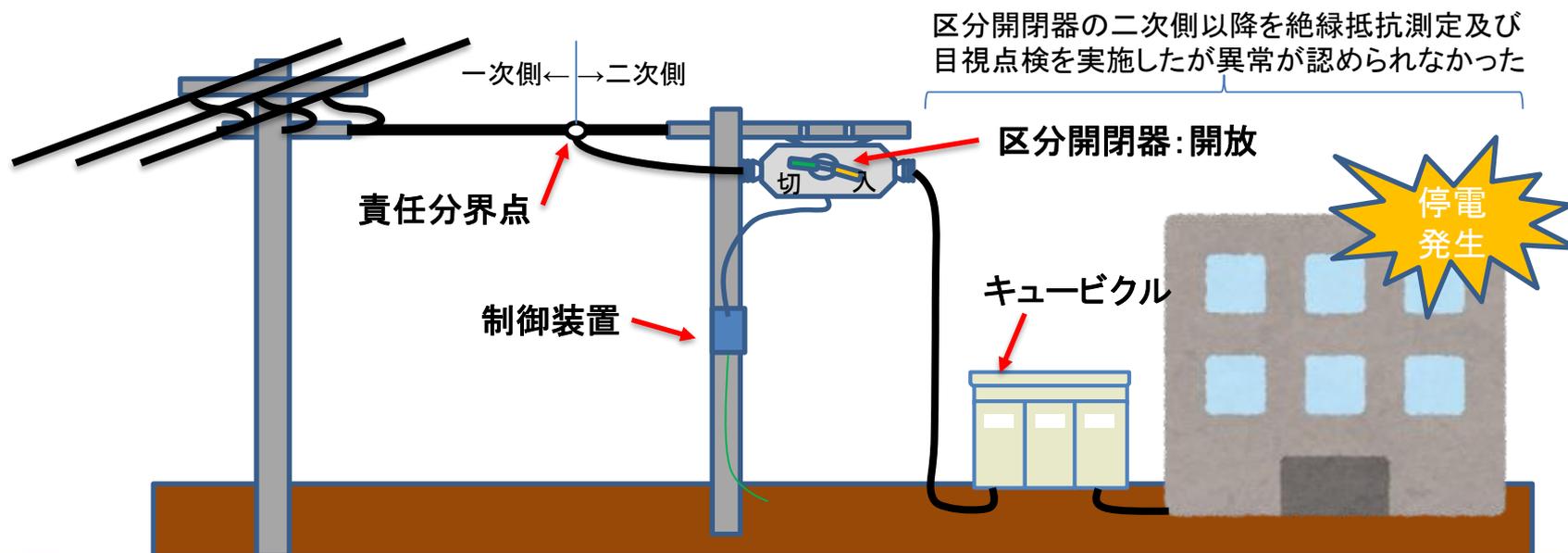
2. 事故事例の紹介

2.1 区分開閉器(PAS)の不動作による波及事故

※区分開閉器による波及事故についてはスライド21・22参照

■事故の発生状況について

- ①落雷が頻発している中、設置者側施設で停電が発生した。
 - ②主任技術者が現地確認したところ、区分開閉器が地絡方向継電器の動作により開放していた。
 - ③主任技術者は、区分開閉器の二次側以降について絶縁抵抗測定及び目視点検を実施したが異常が認められなかったため、電力会社に連絡の上、区分開閉器を再閉路した。
 - ④区分開閉器を再閉路した直後、高圧ケーブルの絶縁不良による地絡が発生。しかし、設置者側の地絡方向継電器が動作せず区分開閉器が開放されなかったことから波及事故となった。
- ※当該事故調査においてケーブルは事故品として提供されなかったため、区分開閉器のみの調査を実施。

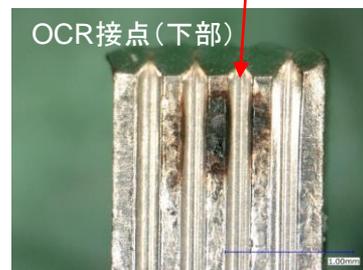
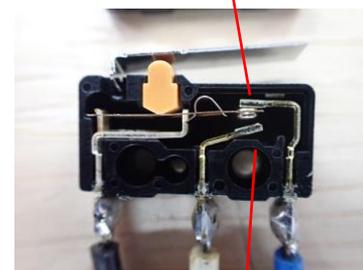
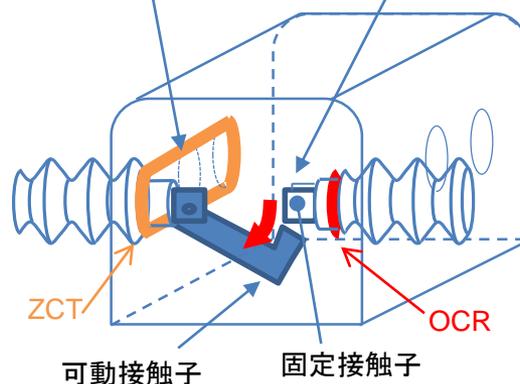
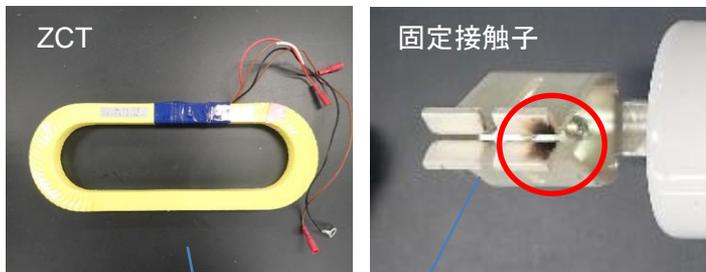
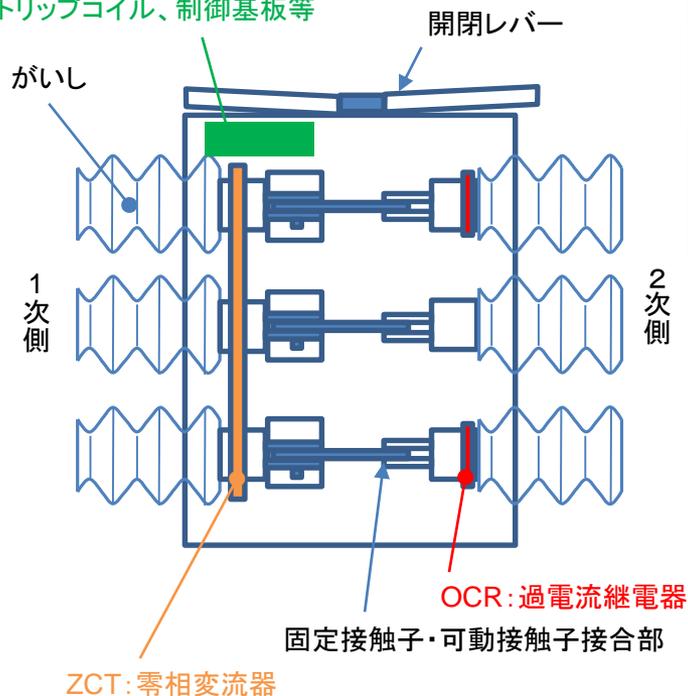


図：事故発生現場イメージ図

■NITEが実施した事故実機調査の結果

①区分開閉器内部確認

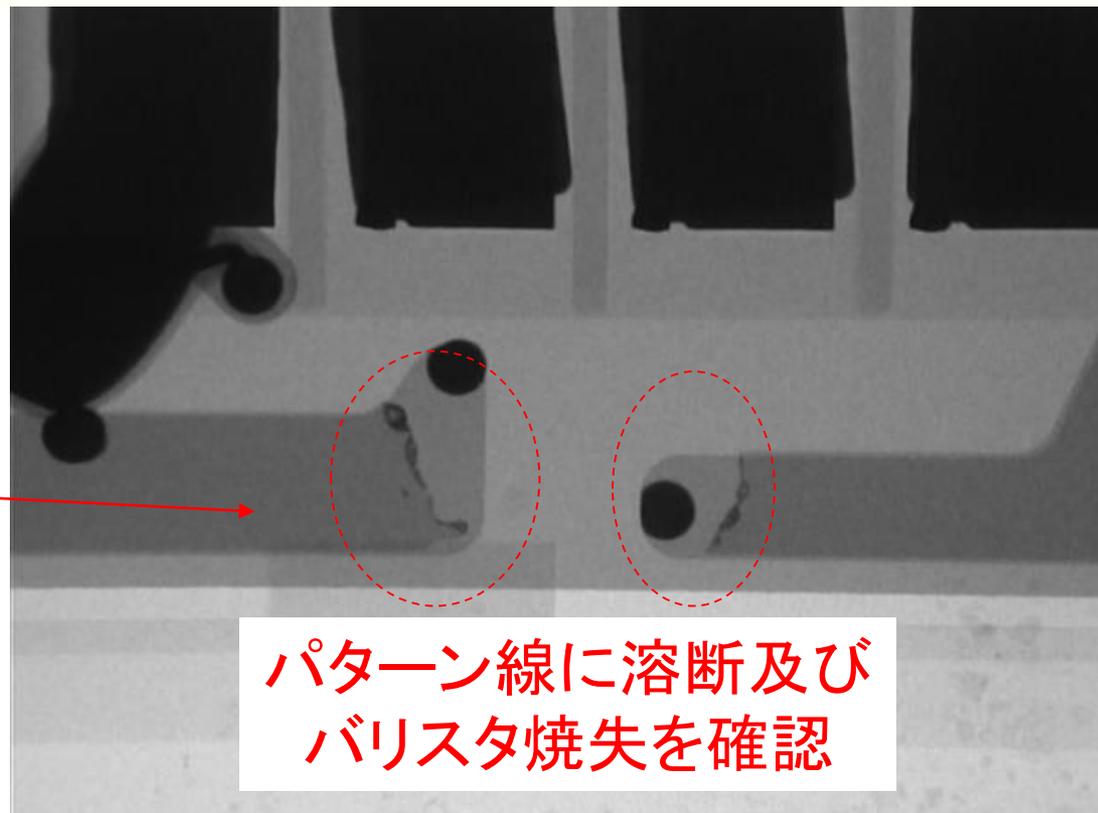
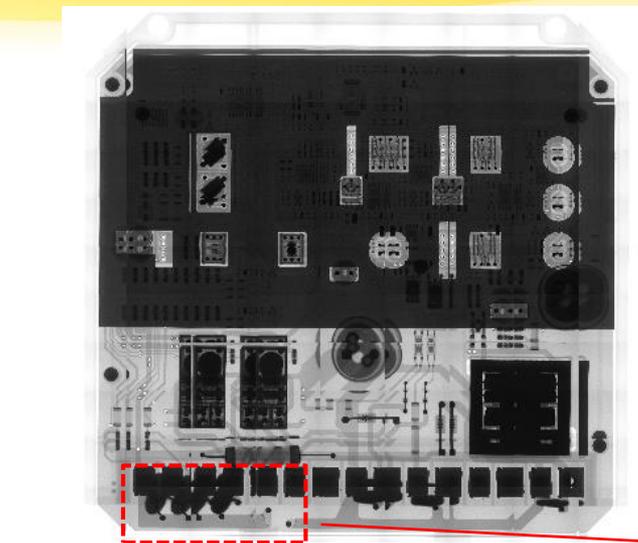
トリップコイル、制御基板等



- 開閉器内部に焼損、受熱、出火の痕跡は認められなかった。
- 絶縁ボックス、アークシューターにも焼損、受熱、出火の痕跡は認められなかった。
- 開閉レバーの機構にも異常はなく、指針と連動して開閉動作した。
- 固定接触子の受け刃金具に一部焼損が認められたが、溶融等の異常は認められなかった。
- トリップコイル、ZCT等の内部部品に異常は認められなかった。
- 製品内の2つあるOCRの片方のマイクロスイッチの接点に炭化物の付着が認められたが、当該事故調査では事故発生時、接点の固着の有無については特定に至らなかった。

区分開閉器に異常は認められなかった。

②制御装置



パターン線に溶断及び
バリスタ焼失を確認

- 制御装置の外観上では、焼損等の異常は認められなかった。
- バリスタ及びバリスタの実装部付近に焼損やアーク痕が認められた。そのほかの箇所には異常は認められなかった。
- X線透過装置で確認した結果、接地及び制御装置に電源を入力する端子付近のパターン線に溶断及びバリスタ焼失が認められた。

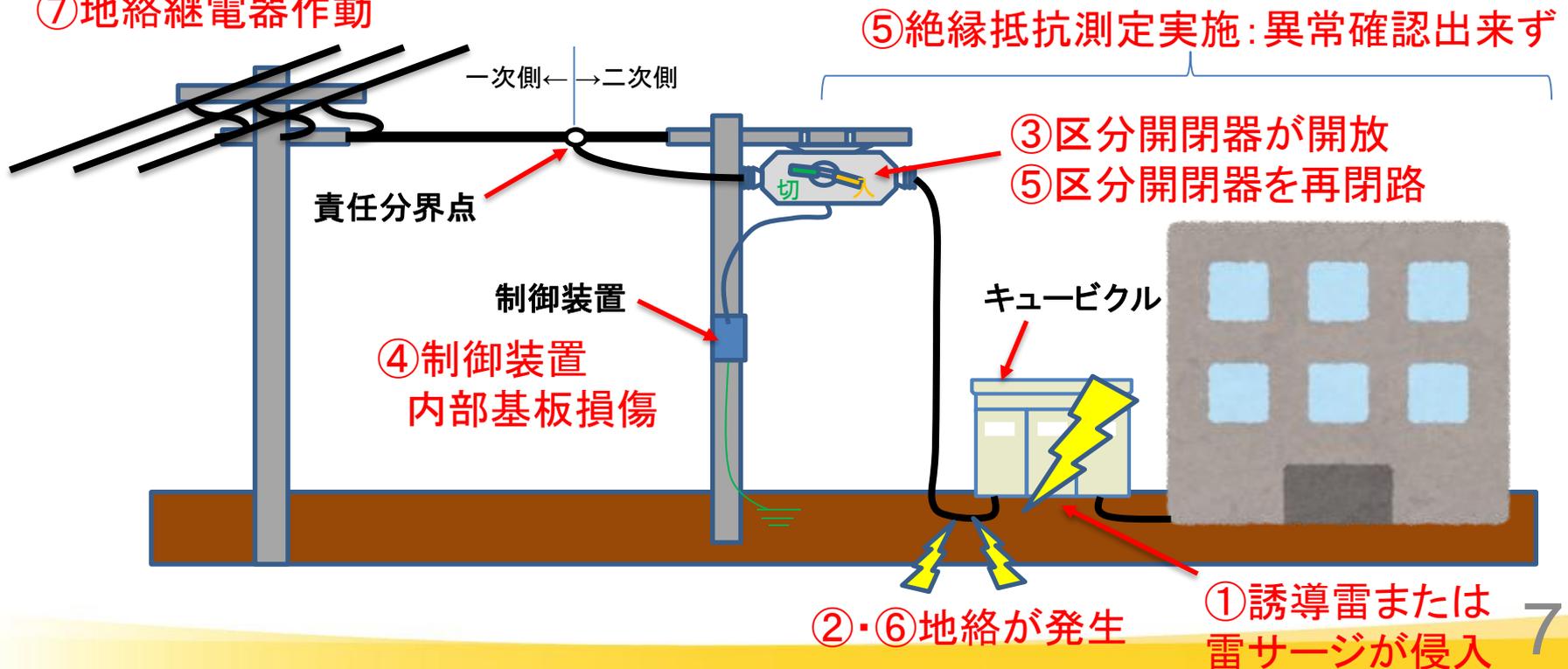
➤ 制御装置内部に一部焼損が認められた。

■事故発生原因(推定)

事故発生状況や事故品確認(スライド4~6)を踏まえ、当該事故は次のとおり進行したことにより発生したものと推定した。

- ①落雷により、系統から雷サージもしくは付近に落雷した際の誘導雷が設置者側受電設備に侵入
- ②ケーブルに地絡が発生
- ③地絡方向継電器により区分開閉器が開放動作し、設置者側への電力供給を遮断
- ④開放には成功したが、制御装置にも損傷が発生(アースから誘導雷が侵入したものと推定)
- ⑤二次側(設置者側)について絶縁抵抗を測定し異常が確認出来なかったことから区分開閉器を閉路し再送電
- ⑥地絡箇所が除去されていなかったことから、再度地絡が発生
- ⑦制御装置は既に損傷をしていたことから動作できず、電力会社の地絡継電器が作動し、波及事故に至った。

⑦地絡継電器作動



■ 事故発生に至るまでの流れ及び事故防止に関する考察

事故発生に至るまでの流れに加え、どの時点で対策を講じていれば、事故の発生には至らなかったかについて考察した。

【事故発生に至るまでの状況】

(1) 落雷が頻発している中、設置者側施設で停電が発生した。



この間に
発生した事象

【発生した事象(事故発生状況や事故品確認から推定したものも含む。)

- ①落雷により、系統から雷サージ又は付近に落雷した際の誘導雷が設置者側受電設備に侵入
- ②ケーブルに地絡が発生したものと推定
- ③地絡方向継電器により区分開閉器が動作し、設置者側への電力供給を遮断。

(2) 主任技術者が現地確認したところ、区分開閉器が地絡方向継電器動作で開放していた。

【発生した事象に対する対応】

地絡方向継電器により区分開閉器が動作していたことに安心せず、制御装置の動作確認を実施し、正常に動作するかについて確認をしていれば波及事故発生を防げた可能性あり



- ④区分開閉器による開放の後、**制御装置内部に損傷が発生したものと推定**
- ⑤2次側について絶縁抵抗を測定したところ異常が確認出来なかったが、この時点で**すでにケーブルに異常が発生していたものと推定**

(3) 主任技術者は、区分開閉器の二次側以降について絶縁抵抗測定及び目視点検を実施したところ、異常が認められなかったため、電力会社に連絡の上、区分開閉器を再閉路した。

発生した事象③より地絡方向継電器により区分開閉器が動作していたことを踏まえて、地絡箇所の特定により注力出来ていれば波及事故発生を防げた可能性あり。



- ⑥地絡箇所が除去されていなかったことから、再度、地絡が発生
- ⑦制御装置は既に損傷をしていたことから動作できず

(4) 区分開閉器を再閉路後、高圧ケーブルの絶縁不良による地絡による地絡が発生。しかし、設置者側の地絡方向継電器が動作せず区分開閉器が開放されなかったことから波及事故となった。

■ 事故発生防止のために

事故原因究明調査からの結論

昨年度、NITEで行った事故実機調査において調査した区分開閉器のうち、当該事故事例と同様に制御装置に雷サージが侵入し、制御装置の電源入力部が焼損していた事例は6件確認（区分開閉器31件中）。



同様な事故を発生させないために、落雷により区分開閉器が開放された場合は、以下の点検項目についても対応が必要である。

【絶縁低下箇所の特定】

○地絡方向継電器が動作し区分開閉器が開放動作した場合は、いずれかの箇所において絶縁低下していたことが推定されることから、絶縁低下していた箇所の特定。

【制御装置の動作確認】

○区分開閉器を再閉路する際、制御装置についても確認。

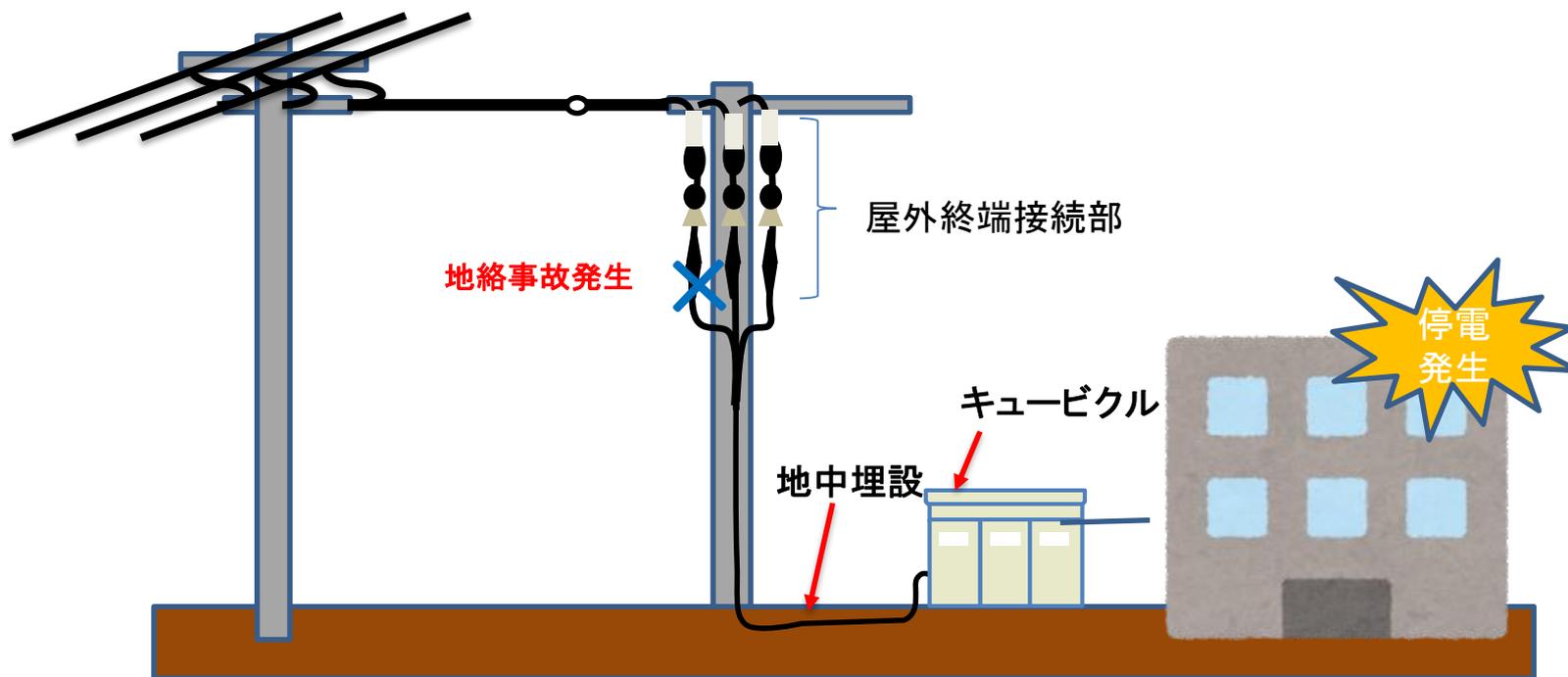
- ・外観確認の他、制御装置のGR、SO動作表示の確認
- ・制御装置の動作確認試験

注意:これを実施する際は、PASを開放した状態で、制御電源線を離線し、他から電源を供給して実施

2.2 シュリンクバックによる地絡発生事故

■事故の発生状況について

- ①当該事業場では、波及事故が発生する1週間の間に3回の構内停電が発生していた。
- ②構内停電はいずれもキュービクル内の地絡継電器の保護動作により主遮断器が作動したことが原因
- ③事故発生の半年前に実施した年次点検では、高圧ケーブルの絶縁低下が確認されていた。
- ④出迎え方式で受電する事業場において、高圧ケーブル終端接続部のストレスコーン末端部で絶縁破壊により地絡が発生し、波及事故に至った。



図：事故発生現場イメージ図

■NITEが実施した事故実機調査の結果

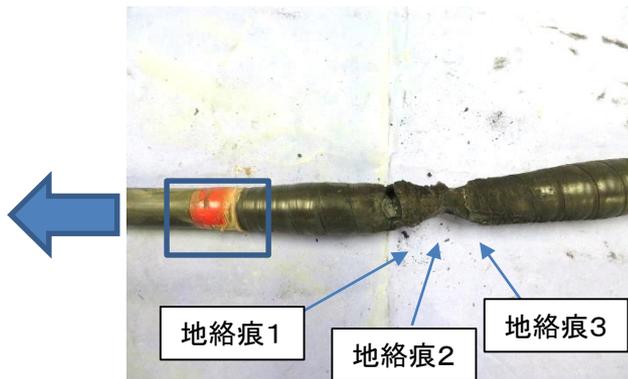
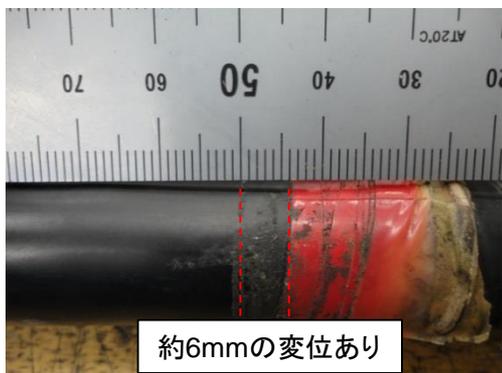
①屋外終端接続部外観確認

○使用されていたケーブルは、EMケーブル(エコケーブル)であった。

○3本のケーブルうち、2本のケーブルに焼損が認められた。

○焼損した1本のケーブルには、ストレスコーン末端部(中央部より負荷側へ約95mm付近)に、地絡痕が3箇所認められた。

○ブラケットによるケーブル拘束部付近において、ケーブル滑落の痕跡が認められた。また、その変位は約6mmであった。



②屋外終端接続部非破壊確認(X線透過装置による確認)

○地絡痕が認められたケーブルは、鉛テープが一部焼失していた。

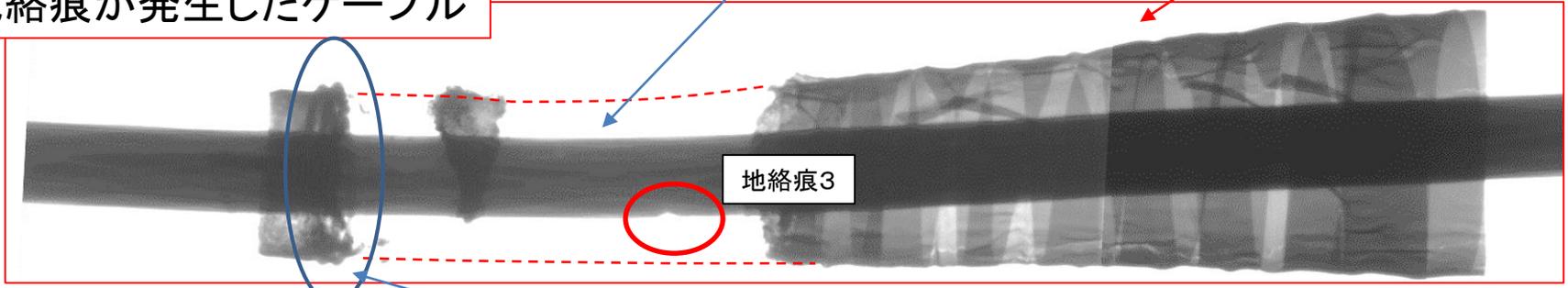
○押さえめっき線の端部に焼損が認められた。



赤点線内:鉛テープ焼失

赤枠内:X線透過

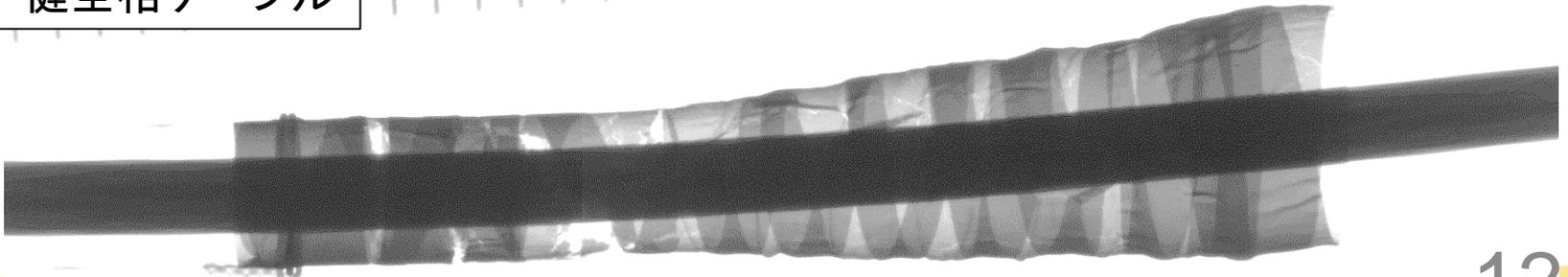
地絡痕が発生したケーブル



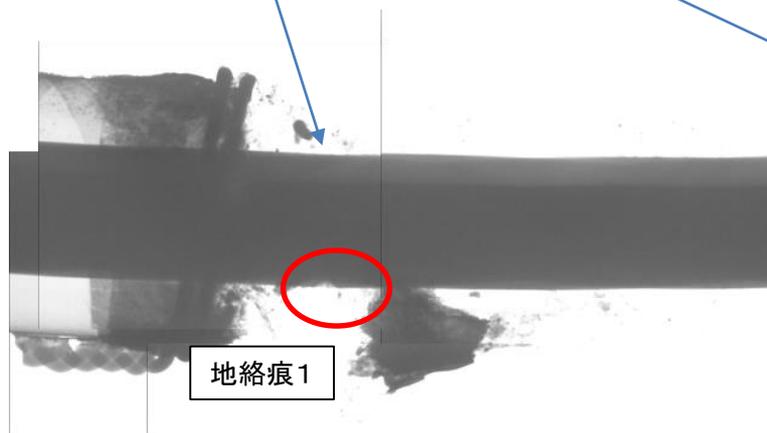
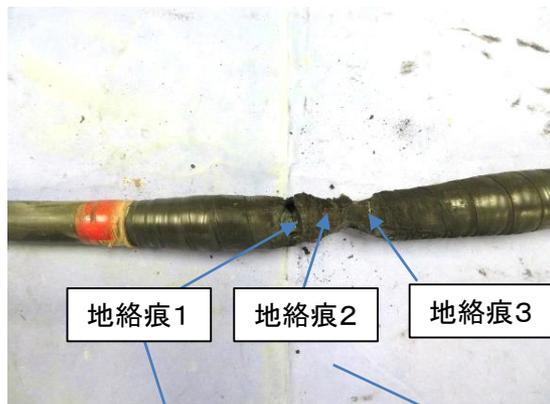
地絡痕3

押さえめっき線

【参考】健全相ケーブル



○外観観察で確認した3箇所の地絡痕のそれぞれをX線透過装置で確認したところ、以下のとおり、いずれも導体の一部に溶融が認められた。



③ 遮蔽銅テープ端部内部確認

○健全相との比較の結果、遮蔽銅テープの押さえめっき線の施工位置に違いは認められるが、シースの剥ぎ取り範囲、遮蔽銅テープの露出範囲等は同等であると考えられることから、地絡痕1は地絡により焼失した遮蔽銅テープの端部付近にあったものと推定された。

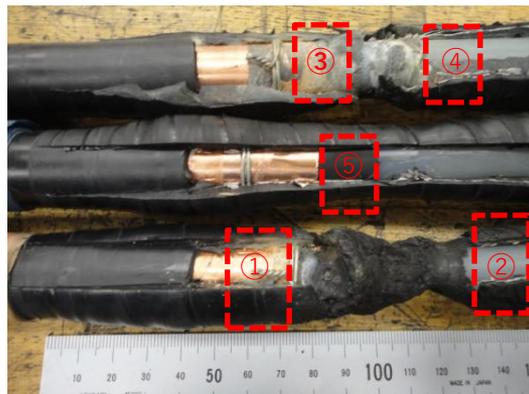


遮蔽銅テープ端部

④水トリー発生についての確認

○3相のケーブルの絶縁体について水トリーの発生について確認を行ったが、確認の範囲内では、地絡に至るような外導水トリー、内導水トリー及びボウ・タイ状水トリーは認められなかった(※水トリー現象についてはスライド24参照)

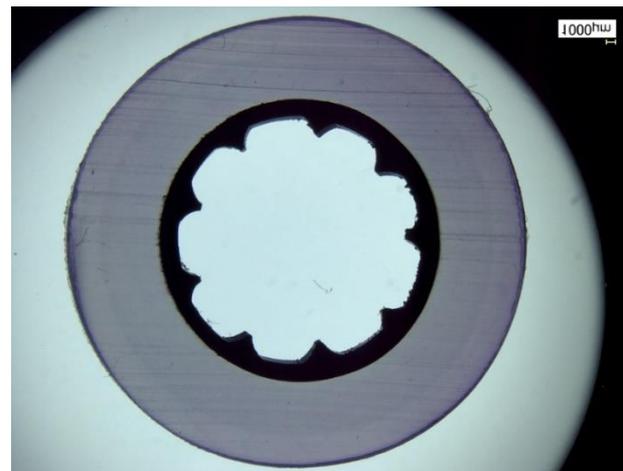
調査箇所



調査結果

	外導トリー(長さ 1,000μm以上)	内導トリー(長さ 1,000μm以上)	ボウ・タイ状トリー (長さ500μm以上)
試料①	0	0	0
試料②	0	0	0
試料③	0	0	0
試料④	0	0	0
試料⑤	0	0	0

確認した絶縁体の一例



■事故発生原因(推定)

事故発生状況や事故品確認(スライド10~15)を踏まえ、当該事故は以下のとおり進展したことで発生したものと推定した。

- ①屋外終端接続部にて微地絡が発生(事故発生状況から、当該箇所ではシュリンクバック現象(スライド25参照)が発生したものと推定)
- ②構内キュービクルの地絡継電器が保護動作し主遮断器が作動により構内停電発生(計3回発生)
- ③その後、電力会社配電用変電所の地絡継電器が作動し、地域停電が発生
- ④当該事業場は出迎え方式で受電=電力会社の保護範囲外であったため、再閉路では停電復旧ができず、再閉路の1分後、配電用変電所が電力供給を遮断し波及事故に至った。

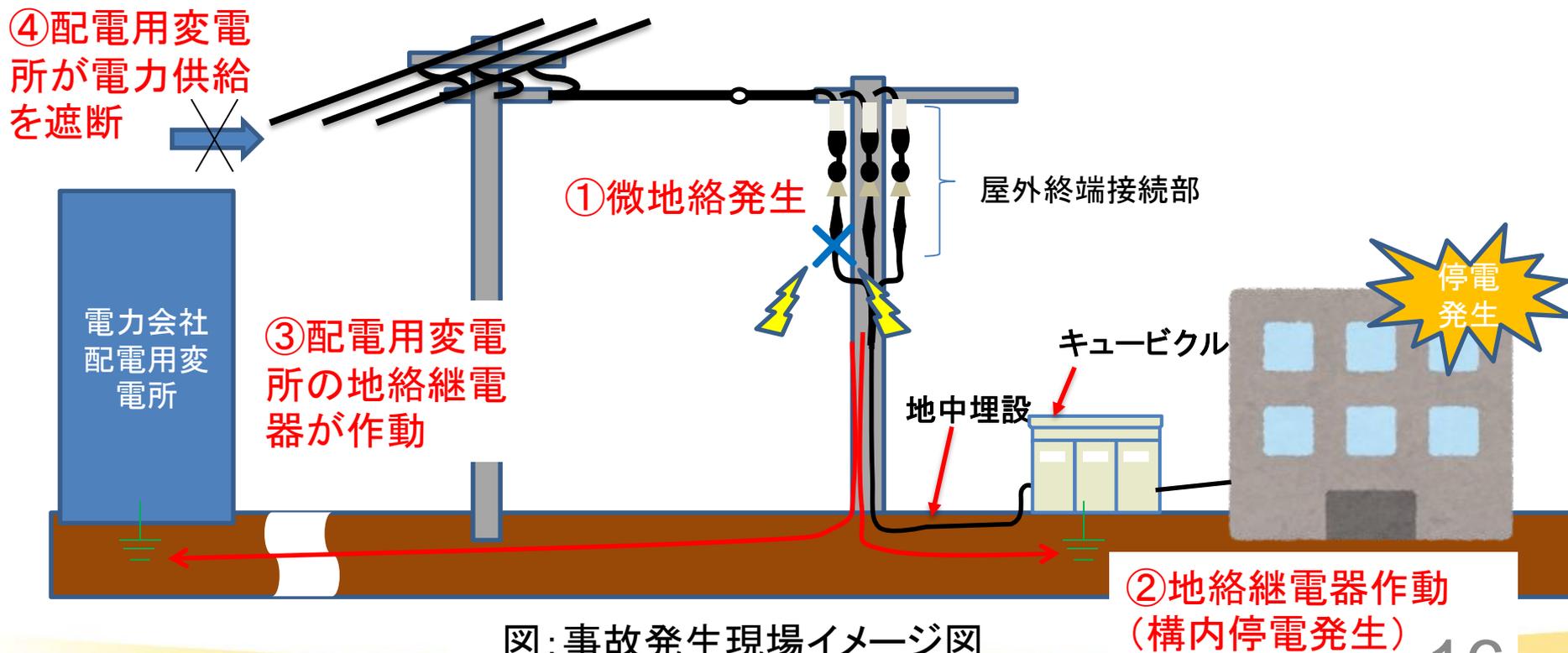


図:事故発生現場イメージ図

■ 事故発生に至るまでの流れ及び事故防止に関する考察

事故発生に至るまでの流れに加え、どの時点で対策を講じていれば、事故の発生には至らなかったかについて考察した。

【事故発生に至るまでの状況】

- (1) 波及事故発生 1週間前に 3回構内停電が発生。いずれもキュービクル内の地絡継電器の保護動作により主遮断機が遮断した

【発生した事象に対する対応】

ケーブルに地絡が発生したことを踏まえて、日常点検時に注力出来ていれば事故発生を防げた可能性あり

【発生した事象(事故発生状況や事故品確認から推定したものも含む)】

- この間に発生した事象
- ① ブラケットによるケーブル拘束部付近において、**ケーブル滑落の痕跡**が認められた。また、その変位は約6mmであった。
 - ② **直近の年次点検で高圧ケーブルの絶縁低下が認められた**ことや、焼損状況からケーブル終端接続部には絶縁劣化が発生していたと推定される。
 - ③ 3回発生した構内の停電は、微地絡であったため電力会社の地絡継電器では、検知できなかったものと推定。

絶縁低下を認められたことを踏まえて、ケーブル交換を実施出来ていれば事故発生を防げた可能性あり

(2) 地絡発生

この間に発生した事象

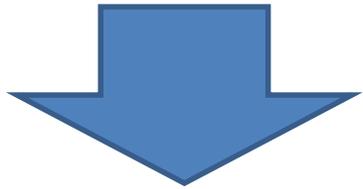
- ① 電力会社側の地絡継電器が作動。
- ② 当該事業場は出迎え方式で保護範囲外であったため、1分後の再閉路までに、地絡点の切り離しができなかった。
- ③ 1分後再閉路を行ったが、地絡点を切り離しができなかったため、電力会社は電力供給を遮断。
- ④ 事故実機調査において**水トリーの発生(スライド22参照)**は認められなかったことから、水トリー現象で発生した地絡ではないと推定。
- ⑤ ブラケットにケーブルの滑落が発生していたことから、ケーブルの固定対策不十分もしくは繰り返しの日射や通電等のヒートサイクルからシースの収縮(**シュリンクバック現象:スライド23参照**)が生じ、端末処理部の遮蔽銅テープまたは鉛テープの破断に至ったことで絶縁破壊が発生したものと推定。

(3) 波及事故発生

■事故発生防止のために

事故原因究明調査からの結論

発生した事故は、シュリンクバック現象によってケーブルに地絡が発生したものと推定



同様の事故を発生させないためには、次に示す対策が必要

【シュリンクバック現象によるケーブルの地絡発生対策】

- シュリンクバック現象による事故発生抑制のため、特にEMケーブルの端末部においては、シースストッパー等の対策を講じる。
- 年次点検などで絶縁低下が指摘された場合、交換等の対策を講じる。
- 日常点検においては、ケーブル端末部におけるテープの巻き乱れや銅テープの露出、シースのズレ等の目視確認を確実に実施する。

■NITEの調査結果に基づく監督部による事故再発防止活動

NITEの調査によって明らかとなった【シュリンクバック現象によるケーブルの地絡発生対策】については、本内容をもとに中部近畿産業保安監督部が注意喚起文書を作成し、HPで公表するなど、類似事故の再発防止に活用されている。

EMケーブル（エコケーブル）のシュリンクバック現象に関する注意喚起

令和2年3月6日

経済産業省 中部近畿産業保安監督部近畿支部
独立行政法人製品評価技術基盤機構

平成31年、近畿管内の自家用電気工作物設置事業場において、屋外の高圧引込みケーブル端末部で地絡が発生し、保護範囲外であったため波及事故に至るといふ電気事故が発生しました。独立行政法人製品評価技術基盤機構（NITE）が調査したところ、当該ケーブルは経過年数約14年のEMケーブル（EM6600 CE/F、いわゆるエコケーブル）であり、シースの収縮（シュリンクバック現象）が原因で地絡に至った可能性のあることが判明しました。（写真1～3参照）

EMケーブルは2000年頃から導入普及が進んでいますが、EMケーブルに用いられるポリエチレン系シースは、ビニルシースに比べ製造時の残留応力が大きいことから、比較的収縮しやすいという特徴があります。特に、太いケーブルや、直線部が長い箇所、日射による温度変化が大きい箇所では、収縮量が大きくなる傾向がありますので注意して下さい。（図1参照）

シュリンクバック現象による事故発生抑制のため、特にEMケーブルの端末部においては、シースストッパー等の対策を講じるよう、ご検討をお願いします。（図2及び写真4参照）

また、日常点検においては、ケーブル端末部におけるテープの巻き乱れや銅テープの露出等に注意するようお願いします。（写真5参照）



写真1 波及事故発生現場



写真2 事故ケーブルの設置状況



写真3 地絡箇所

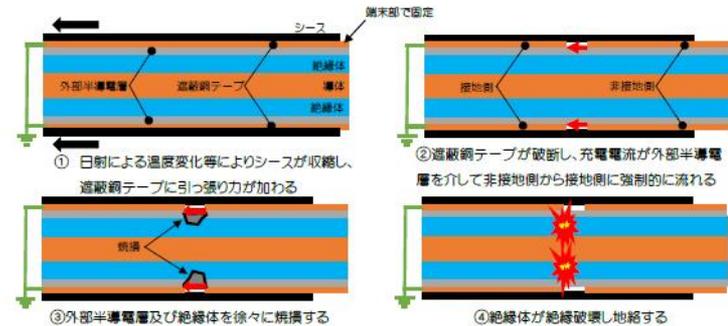


図1 シュリンクバック現象のメカニズム例

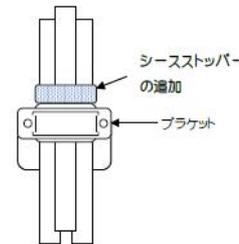


図2 シュリンクバック対策例



写真4 シュリンクバック抑制対策品の例
（写真提供：住電機器システム株式会社）



写真5 外観上の注意点

參考資料

◆ 区分開閉器とは

■ 電力会社と設置者との境界(責任分界点)に設置しているもの。

■ 設置者側の電気工作物で異常等が発生した際、配電系統の電力供給に波及的影響を及ぼさないようにするための機能を有する。

①地絡発生時:設置者側の電気工作物で地絡が発生した時、地絡電流を検出して速やかに開閉器を開放し、電力会社側の配電系統の電力供給への波及的影響を防止(下図参照)

②短絡発生時:以下のように動作することで、電力供給への波及的影響を防止(次ページも参照)

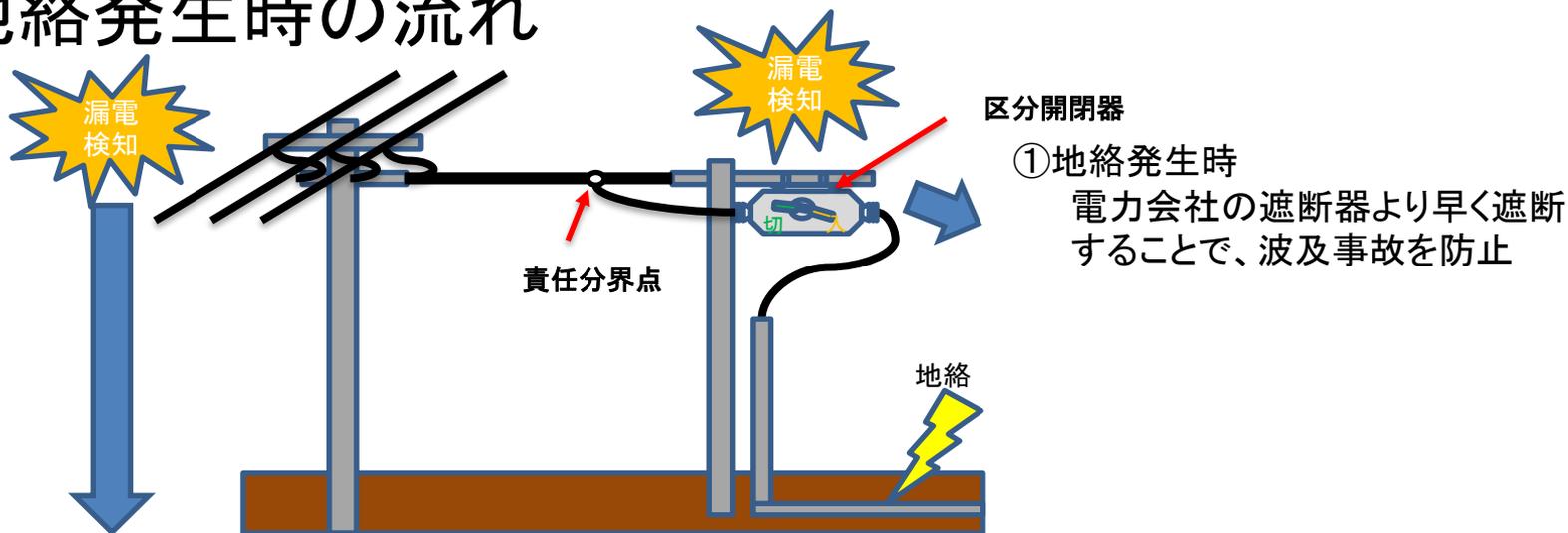
1. 設置者側の電気工作物で短絡が発生した時、短絡電流を検出して区分開閉器の開放動作をロック※

※短絡電流は大電流のため、すぐに開放すると開閉器そのものが焼損する可能性があり、一次的に開放動作をロックする。

2. (電力会社側で当該配電系統への電力供給が遮断され、)電力供給が止まったことをうけ、区分開閉器を開放する。これにより設置者側への電力供給を遮断する。

(3:その後、電力会社が当該配電系統への電力供給を再開した際、短絡事故が発生した設置者以外は復電し短時間の停電で済む。)

◆ 地絡発生時の流れ



②設置者側の区分開閉器で開放出来なかった場合、電力会社側の遮断器で開放する。このため、周辺一帯が停電する(波及事故に至る)。

◆ 短絡事故時に電力会社で波及事故を防ぐ流れ

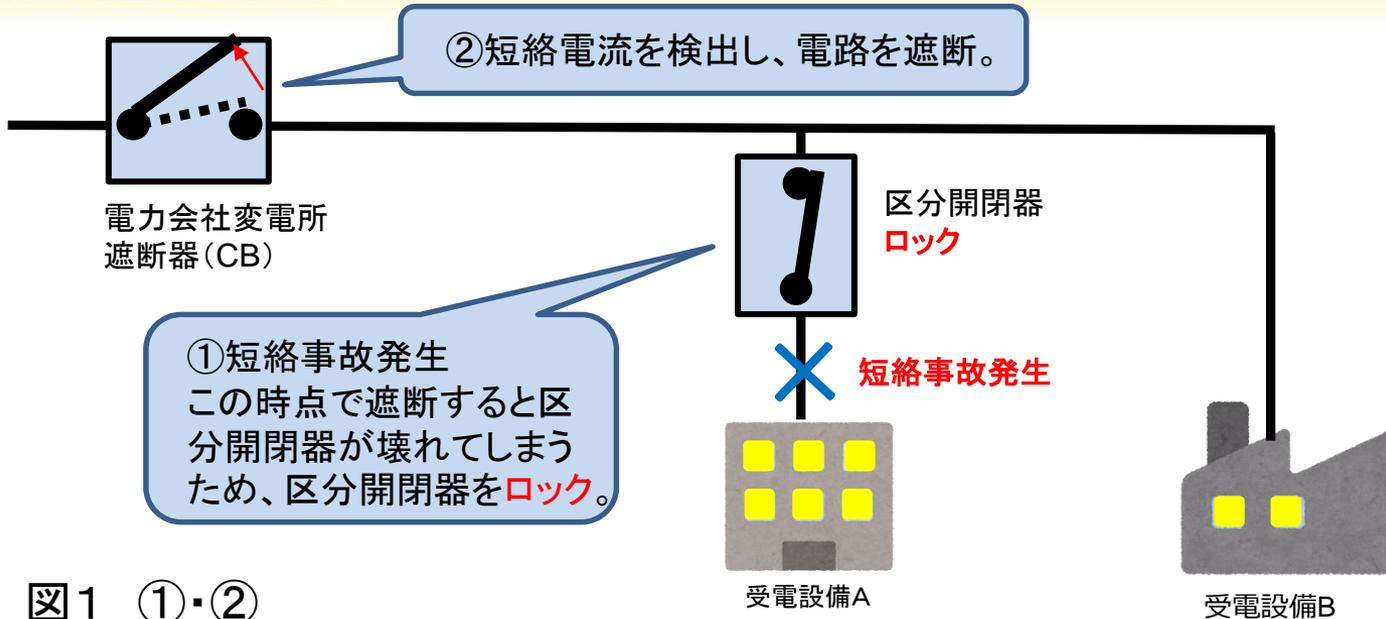


図1 ①・②

①設置者側の電気工作物で短絡が発生した時、短絡電流を検出して区分開閉器の開放動作をロック*させる(図1、①参照)



②電力会社側の配電が遮断(図1、②参照)



③電力供給が止まったことをうけ開閉器を開放させ、設置者側への電力供給を遮断(図2、③参照)



④その後、電力会社が再送電(図2、④参照)



⑤短絡事故発生した設置者以外、復電(電力会社側の配電に波及にさせない)(図2、⑤参照)。

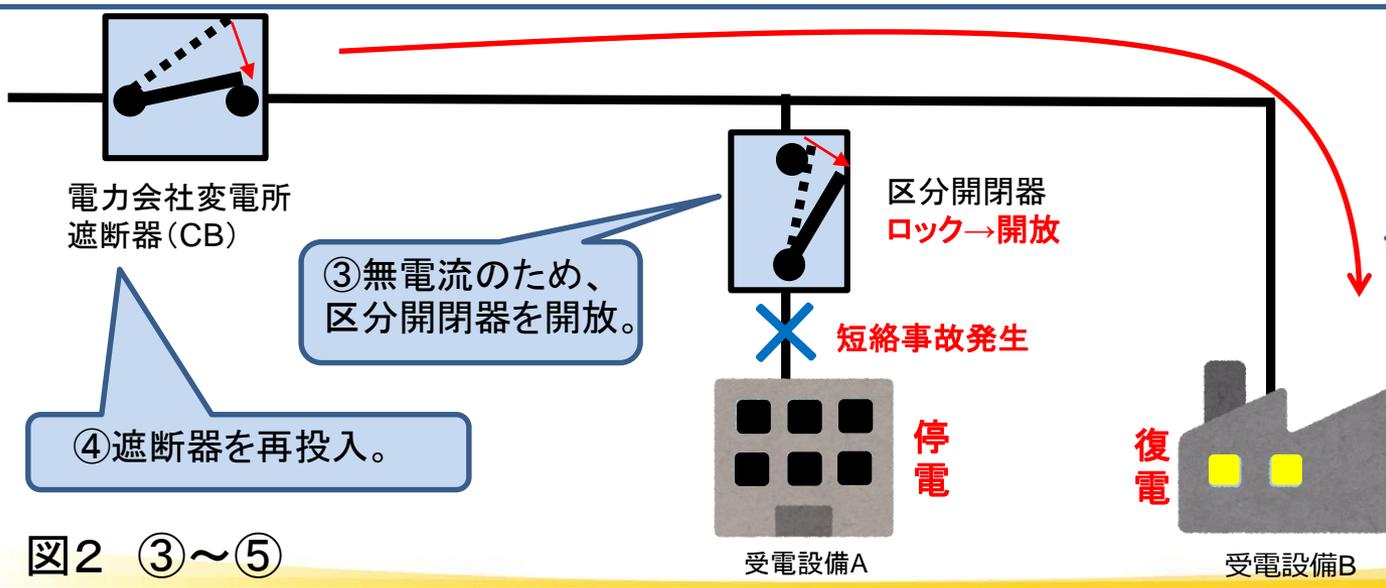
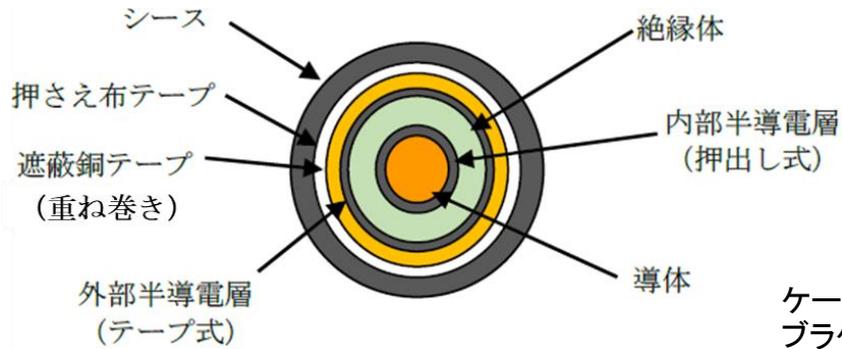


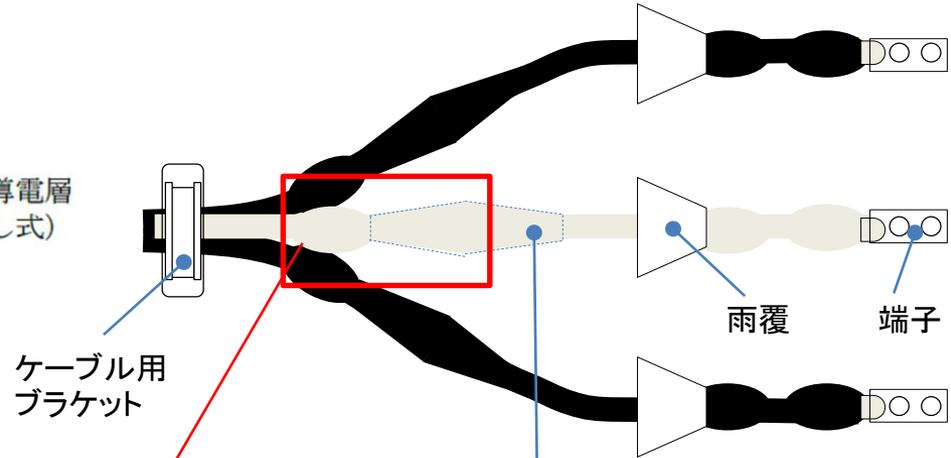
図2 ③～⑤

◆ 高圧ケーブル及び高圧ケーブル終端接続部について

(1) 高圧ケーブル断面図



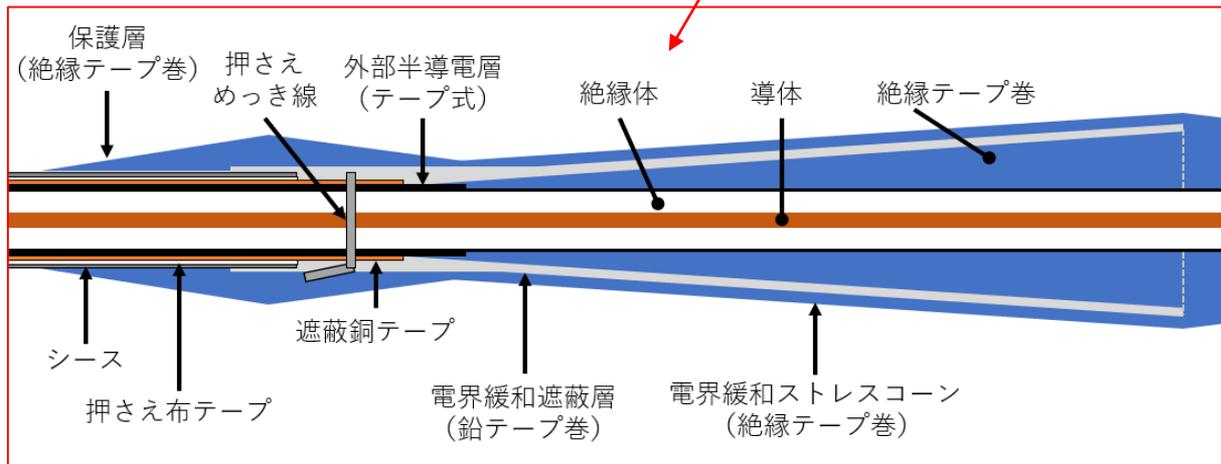
(2) 高圧ケーブル終端接続部(例)



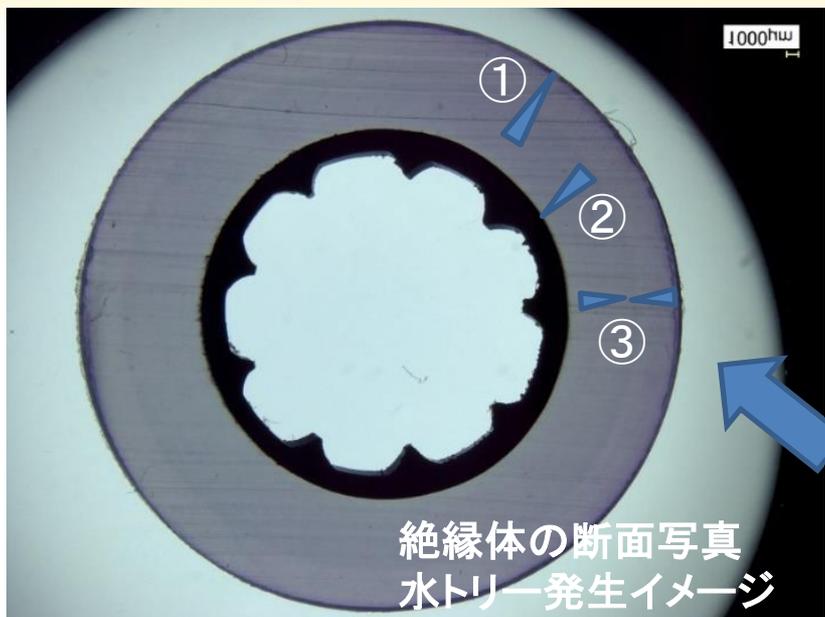
赤枠内: 拡大

ストレスコーン部分(点線部内)
電界の集中を緩和させる手段として絶縁テープ
で円錐状に巻き、遮蔽を設ける。

(3) 高圧ケーブル終端接続部
ストレスコーン(絶縁テープ巻)付近内部断面図



◆ 高圧ケーブルの水トリー現象について

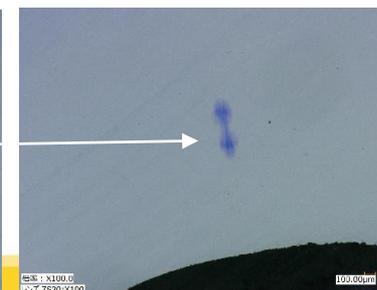
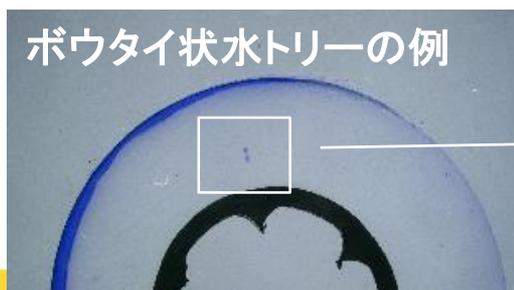
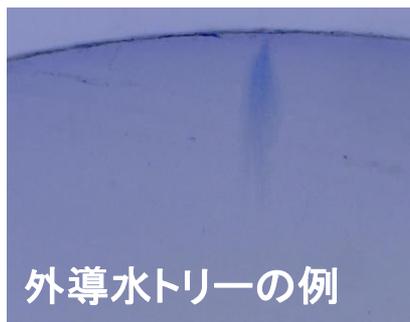
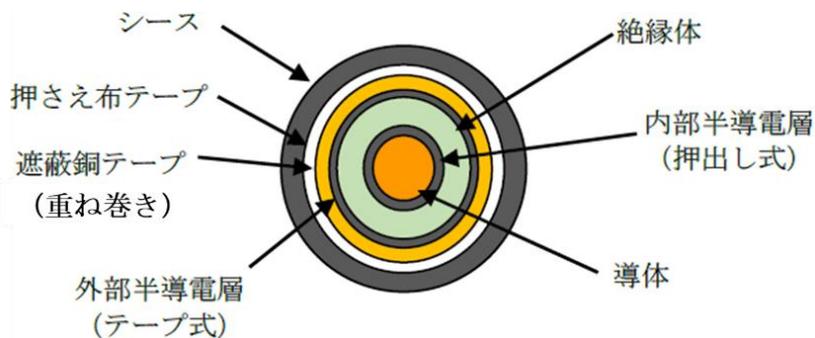


水トリー現象とは、高圧ケーブルの絶縁体に水と電界の関係で樹枝 (tree) 状に劣化が成長する現象のこと。

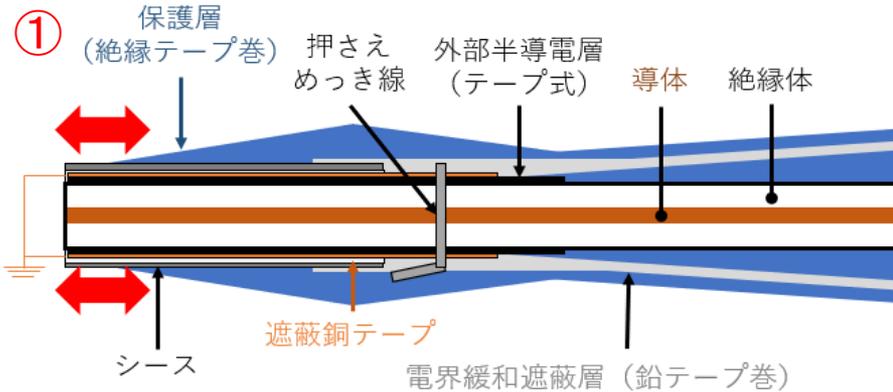
水トリーが成長すると絶縁性能が低下し、地絡事故等の発生原因となる。

水トリーの発生には3種類ある。

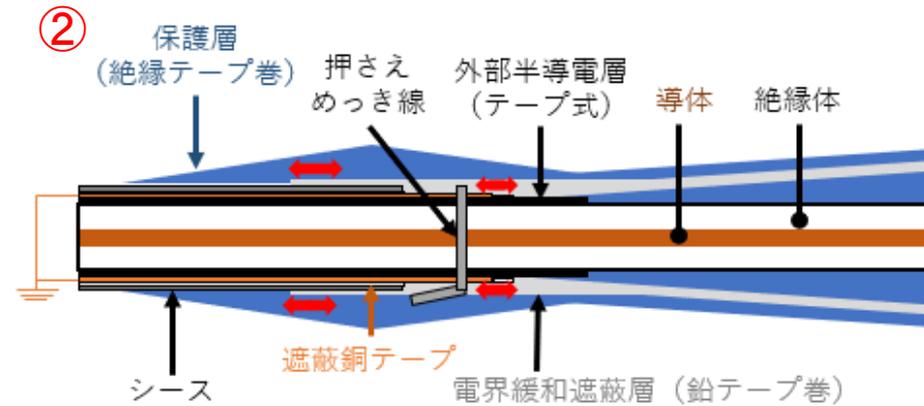
- ①外導水トリー: 外部半導電層から発生
- ②内導水トリー: 内部半導電層から発生
- ③ボウタイ状水トリー: 絶縁体中に、ボウタイ状 (蝶ネクタイ状) に発生



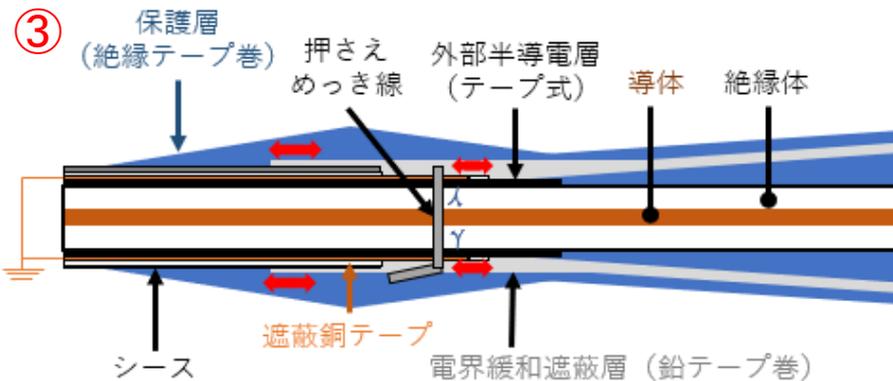
◆ ストレスコーン内で地絡に至ったまでのプロセス(推定)



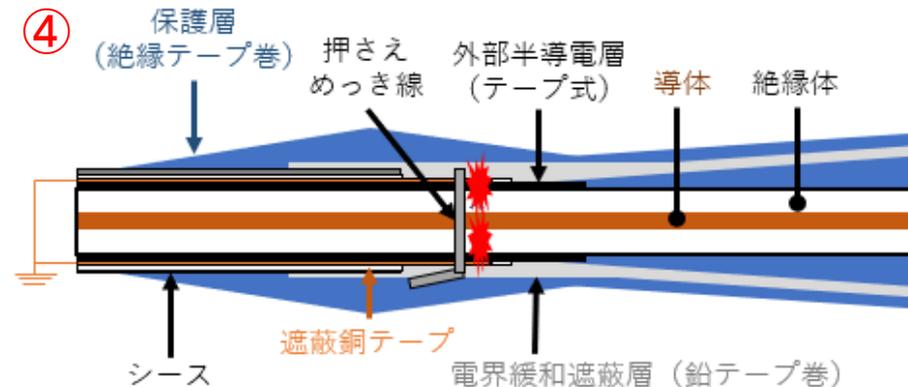
①繰り返しの日射や通電等のヒートサイクルによって、シースが徐々に収縮



②シースの収縮に伴い、電界緩和遮蔽層 (鉛テープ巻) や遮断銅テープにズレが生じる。



③電界緩和遮蔽層にズレが生じたことで耐電圧特性が低下又は遮断銅テープにズレが生じたこと等により充電電流が流れ絶縁体の劣化が進行した。



④絶縁体が絶縁破壊し、地絡が発生