

部分放電オンライン 遠隔診断サービス



見守り続ける“パドルック”

2023年 6月 2日
九州電力株式会社 コーポレート戦略部門
インキューベーションラボ 赤岩

1. 電力ケーブルの事故状況と劣化診断方法
 - (1) 自家用電力ケーブルの高経年化と停電事故件数
 - (2) 電力ケーブル（CVケーブル）の劣化形態
 - (3) CVケーブル部位別劣化プロセスと要因及び発生事象
 - (4) 主なケーブル診断方法と事業者さまへのヒアリング結果

2. 部分放電遠隔診断サービス（PDLOOK）について
 - (1) 部分放電法
 - (2) 高周波CTで取得した部分放電信号例
 - (3) PDLOOKの部分放電信号取得手法
 - (4) クラウド画面イメージ
 - (5) サービスの対象
 - (6) サービス形態
 - (7) サービススキーム
 - (8) 料金形態

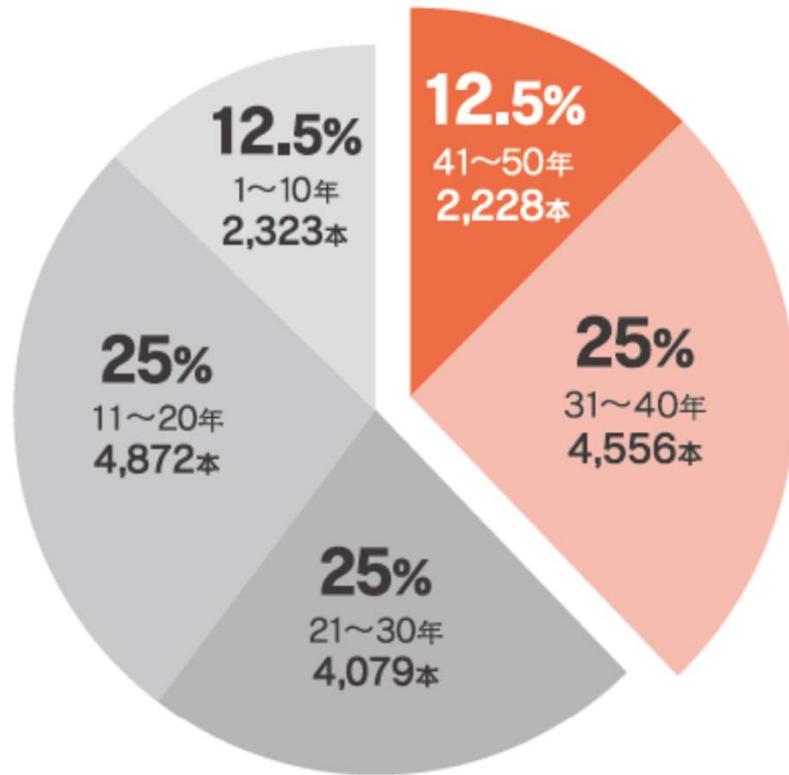
(参考) 学会発表実績・特許出願について

1. 電力ケーブルの事故状況と劣化診断方法
 - (1) 自家用電力ケーブルの高経年化と停電事故件数
 - (2) 電力ケーブル（CVケーブル）の劣化形態
 - (3) CVケーブル部位別劣化プロセスと要因及び発生事象
 - (4) 主なケーブル診断方法と事業者さまへのヒアリング結果

2. 部分放電遠隔診断サービス（PDLOOK）について
 - (1) 部分放電法
 - (2) 高周波CTで取得した部分放電信号例
 - (3) PDLOOKの部分放電信号取得手法
 - (4) クラウド画面イメージ
 - (5) サービスの対象
 - (6) サービス形態
 - (7) サービススキーム
 - (8) 料金形態

（参考）学会発表実績・特許出願について

ケーブル経過年毎の保有実態



自家用ケーブル事故件数



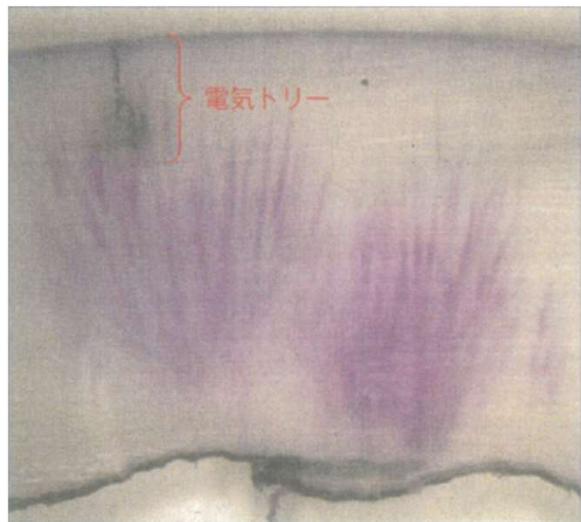
出典・引用元：JCAA技術報告書「自家用電気工作物における高圧ケーブル接続部の事故分析とその対策」
電気学会技術報告「第1243号 絶縁診断に基づく電力機器のアセットマネジメント」

劣化形態	特徴
<p>水トリー劣化 ケーブル絶縁体周辺の水分と局所的な電界の集中が原因で絶縁体に白い樹枝状の欠陥が発生する絶縁劣化現象</p>	<ul style="list-style-type: none">• 高圧以上のCVケーブルに発生する• 発生までに時間を要する• 発生・進展に部分放電の発生を伴わない• 3～11kVでは、水トリーが絶縁体を橋絡しても運転電圧では直ちに絶縁破壊に至らない（橋絡後に部分放電が発生すると、電気トリーが発生・進展し絶縁破壊に至る）• 水の供給、高電界、高周波電圧の印加及び高い周囲温度により促進される• 内導水トリー、外導水トリー、絶縁体内部の欠陥から進展するボウ・タイ状トリーの3種類に分類される

劣化形態	特徴
<p>熱劣化 ケーブル本体や接続部に使用される高分子絶縁材料は負荷電流が許容電流を超過するなどの原因で長時間高温にさらされると、熱、酸素によって分子鎖が切断され、絶縁体の機械的特性の低下を招くことがあり、絶縁性能が低下する。</p>	<ul style="list-style-type: none">• 絶縁体の変色、亀裂が生じる• シースの変形、硬化、亀裂が生じる
<p>化学的損傷・劣化 ケーブルおよび接続部の絶縁体やシースが、油、薬品の影響を受け、浸透による膨潤や、機械的強度の低下、溶解、科学的分解、配合物の抽出による硬化、酸化、重量減などが現れ、絶縁性能の低下を引き起こす</p>	<ul style="list-style-type: none">• 導電性の高い化学トリマー（成分は主に硫化銅）が発生することがある• 敷設環境により外部から劣化が進展するためシースに顕著に認められる
<p>生物的損傷・劣化 動植物による食害や孔害、蟻害、鼠害などにより、まずケーブルシースが損傷を受ける。これにより、周囲の水分がケーブル内に侵入し、劣化が促進され、絶縁体にまで影響が及ぶことがある。</p>	<ul style="list-style-type: none">• 動物（シロアリ、ネズミなど）による食害がある• 九州などの温暖な地域ではイエシロアリによる被害が多いとされている

劣化形態	特徴
<p>遮蔽銅テープの破断</p> <p>水の影響を受けやすい敷設環境やシースのシュリンクバックにより遮蔽銅テープのずれが生じ破断に至る</p>	<ul style="list-style-type: none">• 単芯ケーブル、トリプレックス型ケーブルは絶縁破壊に至ることが多い• 敷設環境による影響が大きい• 破断部の抵抗が数kΩに増大し、地絡保護ができなくなる。• 破断部で放電し、発煙、発火に至る場合がある。
<p>終端接続部のトラッキング</p> <p>屋外設置の終端接続部において、雨水や塵埃の付着、塩害が原因となり、火花放電を伴うトラッキングにより表面が侵食される</p>	<ul style="list-style-type: none">• 終端接続部の汚損または選定ミスによることが多い• 放置すると焼損事故に至ることがある。
<p>部分放電</p> <p>絶縁体の微小な空隙等の電界集中箇所に発生する放電現象により絶縁体が侵食され絶縁劣化を進行させる</p>	<ul style="list-style-type: none">• 電圧階級によらずCVケーブルにおける部分放電の発生は、絶縁破壊に至るまでの過程が不明であるものの、絶縁破壊の前駆現象であることから、危険な状態と考える必要がある

○電カケーブルの劣化形態の例



【電気トリーが発生した内導水トリー⁽¹⁾】

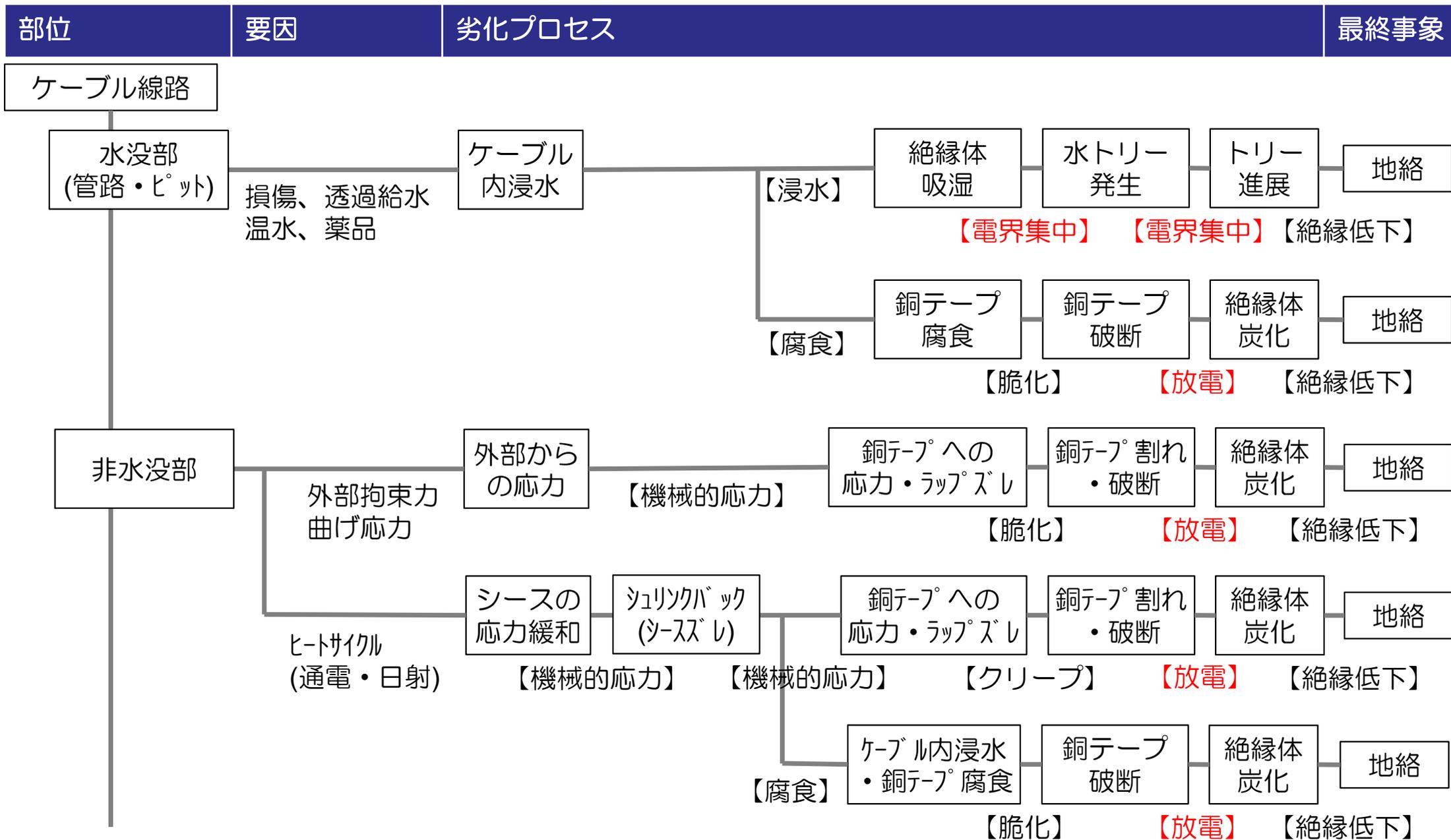


【終端接続部のトラッキングによる焼損事故事例⁽²⁾】

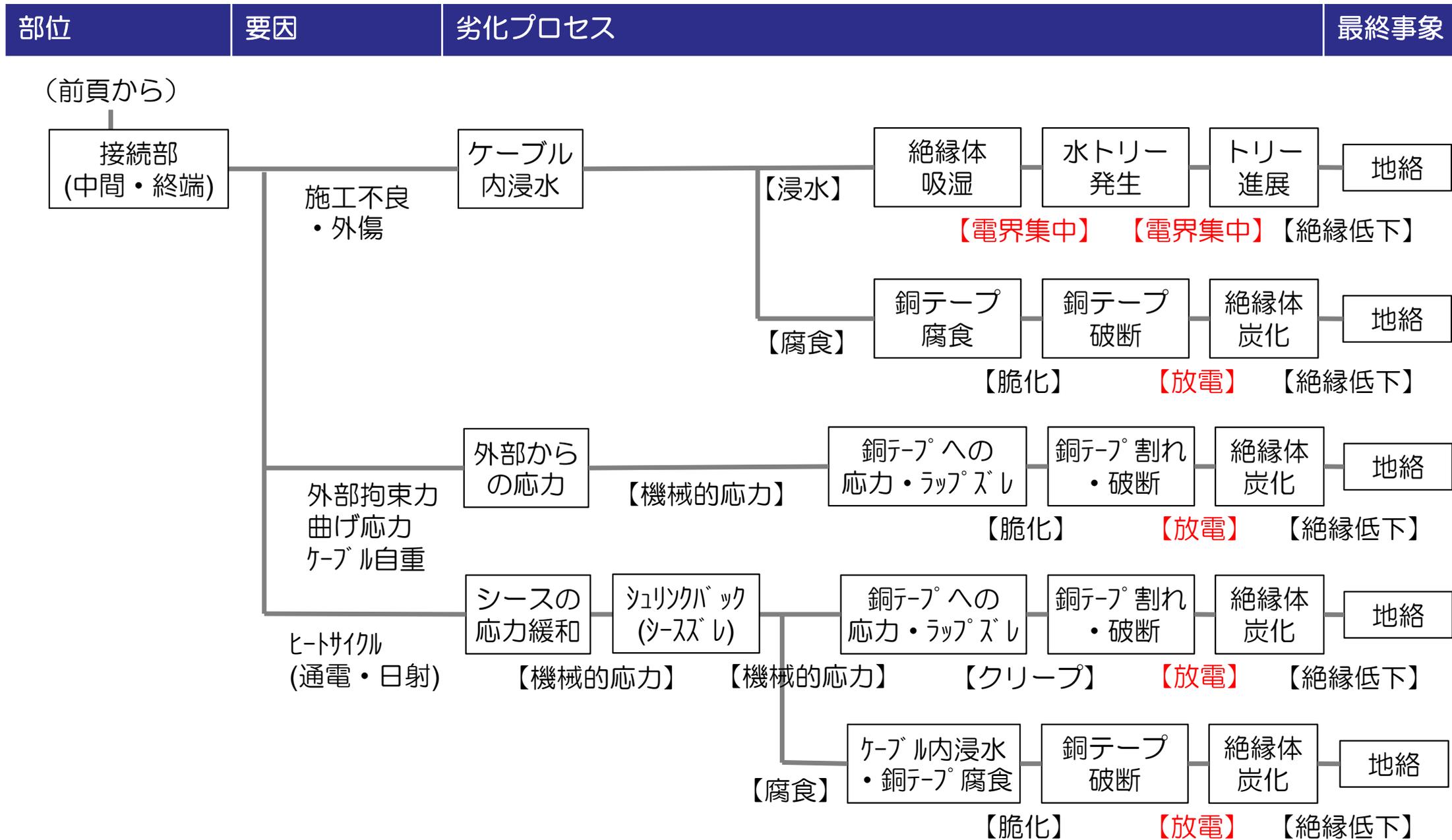


【遮蔽銅テープの破断による絶縁破壊事故事例⁽³⁾】

出典(1,2)：蒲原弘昭：「特高・高圧ケーブルの保守・点検の実務に適用できる技術」，OHM，Vol.105，No.7
出典(3)：日本電線工業会：「高圧 CVケーブルの保守・点検指針」，技術資料，技資第 116号 D



(次ページへ)



1-(4) 主なケーブル診断方法と事業者さまへのヒアリング結果 10

診断方法	概要	対象ケーブル		停電		対象劣化形態	課題
		高圧	特高	導入時	診断時		
直流漏電流法	導体～遮蔽層間に直流高電圧を印加した時の漏れ電流を計測	○	×	—	要	橋絡水トリー (絶縁抵抗)	試験電圧により絶縁耐力の低下を促進
直流電圧重畳法	直流電圧を高圧母線に重畳しケーブル接地線から検出される直流重畳電流より絶縁抵抗を算出	○	×	要	不要	橋絡水トリー (絶縁抵抗)	迷走電流や大地抵抗変動の影響を受けやすい 診断結果が天候に左右されやすい
残留電荷法	直流課電により劣化部に蓄積した電荷を接地後、交流課電により放出される残留電荷量を測定	—	○	—	要	未橋絡水トリー	検出対象の劣化因子が水トリーに限定される。 端末の開放が必要でGISガス抜き等が発生
損失電流法	交流電圧印加時の損失電流の中に含まれる高調波電流を用いてケーブル絶縁体の水トリー劣化を評価	—	○	—	要	未橋絡水トリー	検出対象の劣化因子が水トリーに限定される。 端末の開放が必要でGISガス抜き等が発生
部分放電法	異常箇所より発生する部分放電を各種センサーにより検出	○	○	不要	不要	部分放電 (放電を伴う劣化形態)	ノイズの影響を受けやすい 水トリーの発生・進展過程での検出は困難

○電力ケーブル診断方法マトリクス

	特高ケーブル（7kV超過）	高圧ケーブル（7kV以下）
停電診断	<ul style="list-style-type: none"> • 残留電荷法 • 損失電流法 	<ul style="list-style-type: none"> • 直流漏れ電流法 • 絶縁抵抗測定（絶縁体、シース） • 誘電正接（$\tan \delta$）法 • 遮蔽抵抗法
活線診断	<ul style="list-style-type: none"> • 部分放電法 	<ul style="list-style-type: none"> • 低周波重畳法 • 直流電圧重畳法 • 交流電圧重畳法 • 部分放電法

○電力ケーブル診断に対する事業者さまへのヒアリング調査結果

	特高ケーブル（7kV超過）	高圧ケーブル（7kV以下）
停電診断	<ul style="list-style-type: none"> ① <u>1回の診断料が高額</u> ② <u>生産・事業計画に支障</u>となるため、採用までには至らない ③ 定期点検で停電診断を実施したが『良』判定だったにも関わらず、<u>次回診断時まで</u>に<u>停電事故</u>に至った経験あり ④ <u>劣化のトレンドが把握できない</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ① <u>工場（生産）停止調整が困難</u> ② 最も一般的な診断法では、定格以上の電圧を印可すると<u>ケーブルを破壊</u>させてしまう恐れがある。または<u>ケーブルにストレスを与える</u> ③ 数年に1回の診断頻度では、健全性が担保されているのか不安 ④ <u>劣化のトレンドが把握できない</u>
活線診断	<ul style="list-style-type: none"> ① <u>有効な診断法がない</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ① 気象に左右され診断の<u>信頼性に不満</u>

1. 電力ケーブルの事故状況と劣化診断方法
 - (1) 自家用電力ケーブルの高経年化と停電事故件数
 - (2) 電力ケーブル（CVケーブル）の劣化形態
 - (3) CVケーブル部位別劣化プロセスと要因及び発生事象
 - (4) 主なケーブル診断方法と事業者さまへのヒアリング結果

2. 部分放電遠隔診断サービス（PDLOOK）について
 - (1) 部分放電法
 - (2) 高周波CTで取得した部分放電信号例
 - (3) PDLOOKの部分放電信号取得手法
 - (4) クラウド画面イメージ
 - (5) サービスの対象
 - (6) サービス形態
 - (7) サービススキーム
 - (8) 料金形態

(参考) 学会発表実績・特許出願について

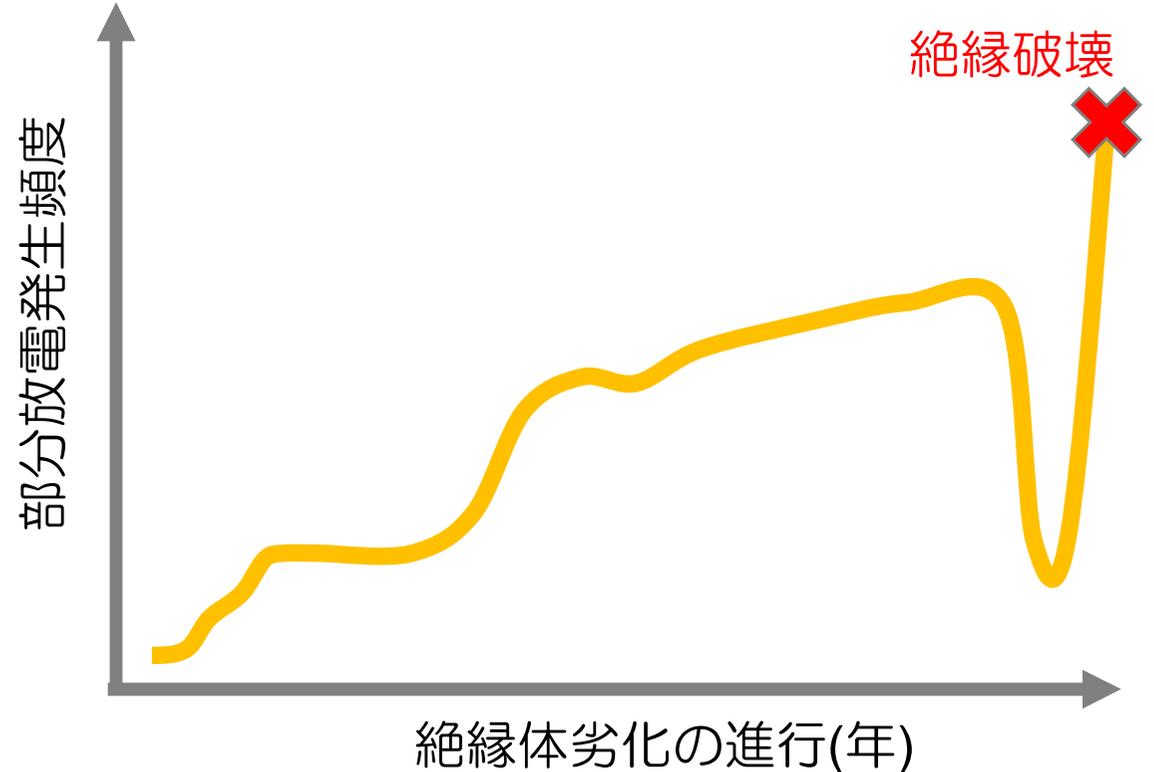
○部分放電とは

- 絶縁材料内部の欠損や微小な空洞、異物などで電界が集中して起こる局所的な放電
- 不定期に発生と消滅を繰り返しながら、絶縁体の劣化を進行させる
- 特に劣化の初期過程においては部分放電の発生数は極めて少ない

部分放電発生イメージ



部分放電発生頻度と絶縁体劣化進行の関係イメージ



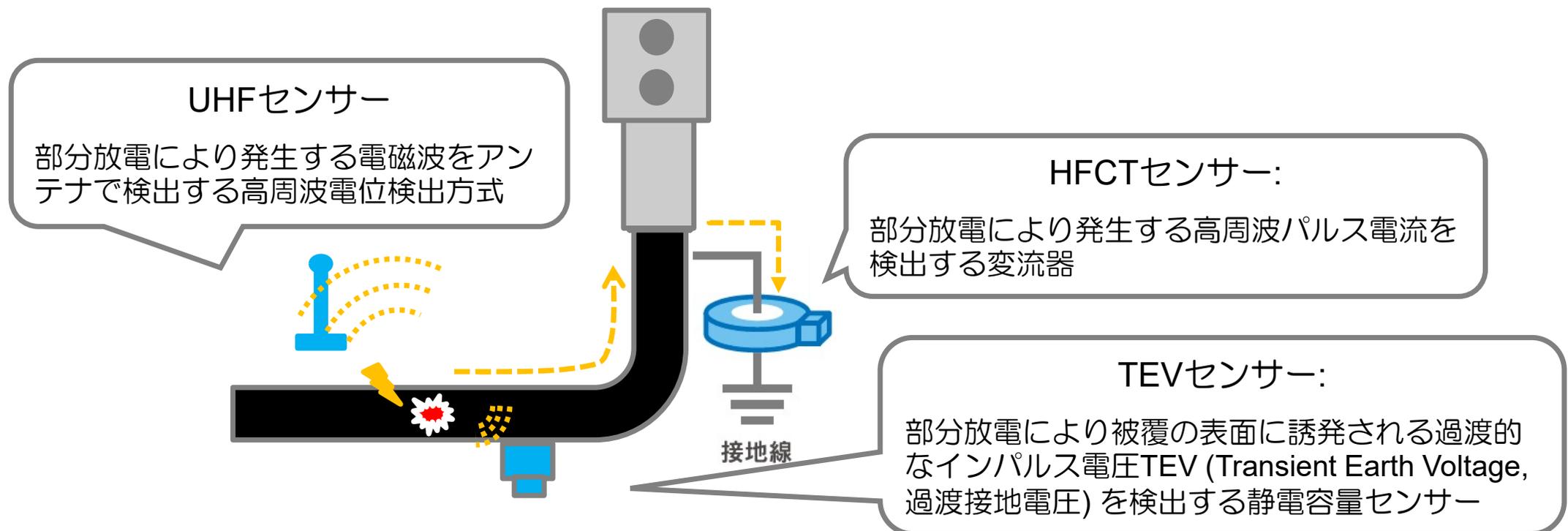
⇒ 特に劣化の初期段階においては部分放電の発生トレンドを常時監視する方法が有効

○部分放電法とは

- 部分放電により生じた微小な信号を各種センサーにより取得し、その信号を分析し、絶縁体の劣化状況を診断する方法
- 電力ケーブルに限らず、変圧器やGIS等への劣化診断に関して実用化が進められている

【部分放電法の課題】

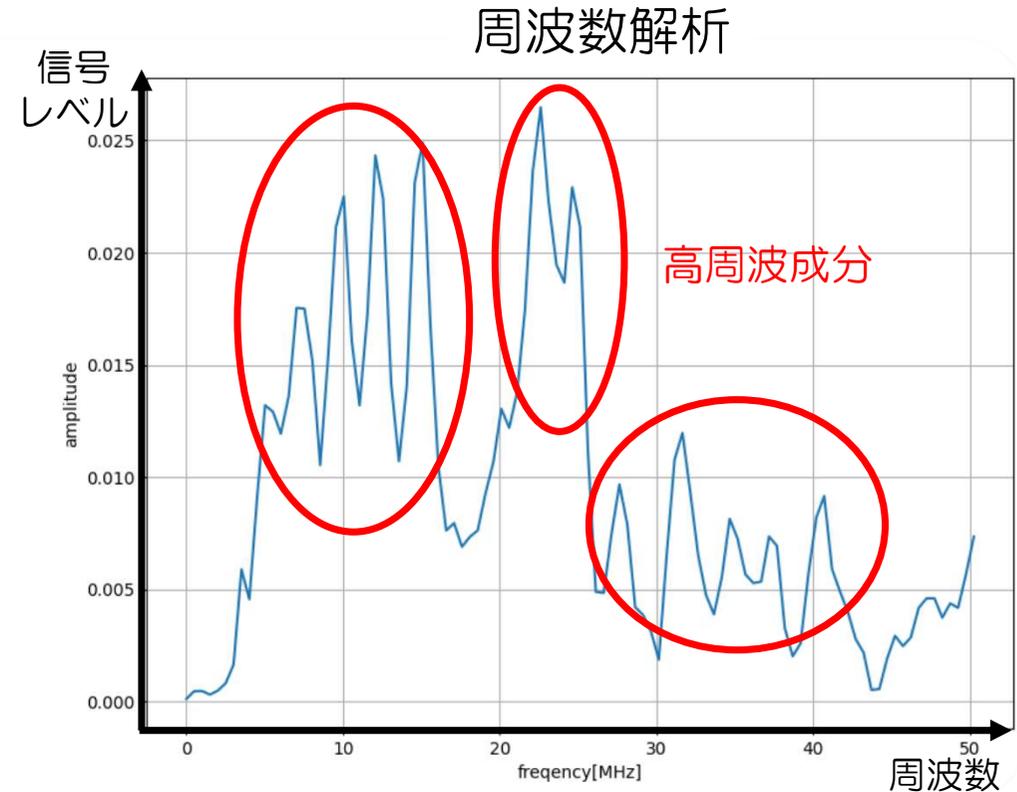
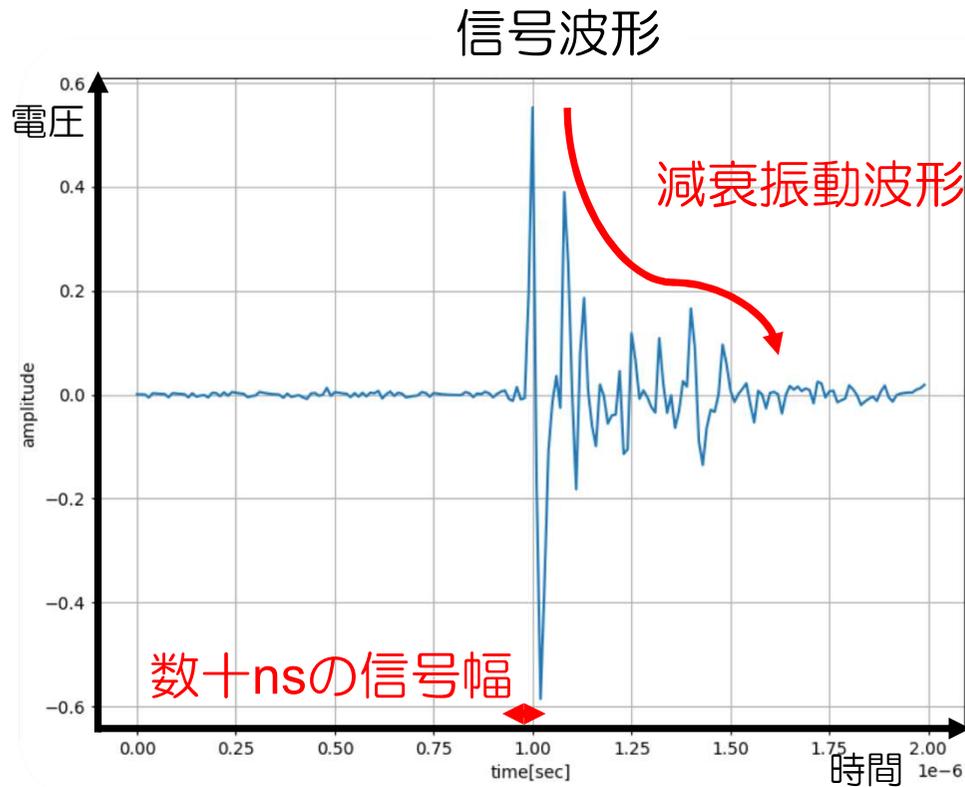
- ・ 放電現象を伴う劣化形態のみ検出可能
- ・ 部分放電による微小な信号と外部環境ノイズとの識別が難しい
- ・ 高周波信号を処理するため大きなデータを扱う必要がある
- ・ 部分放電は発生と消滅を繰り返すため、短時間の測定では検出を逃す恐れがある



(主な部分放電信号取得センサーのイメージ)

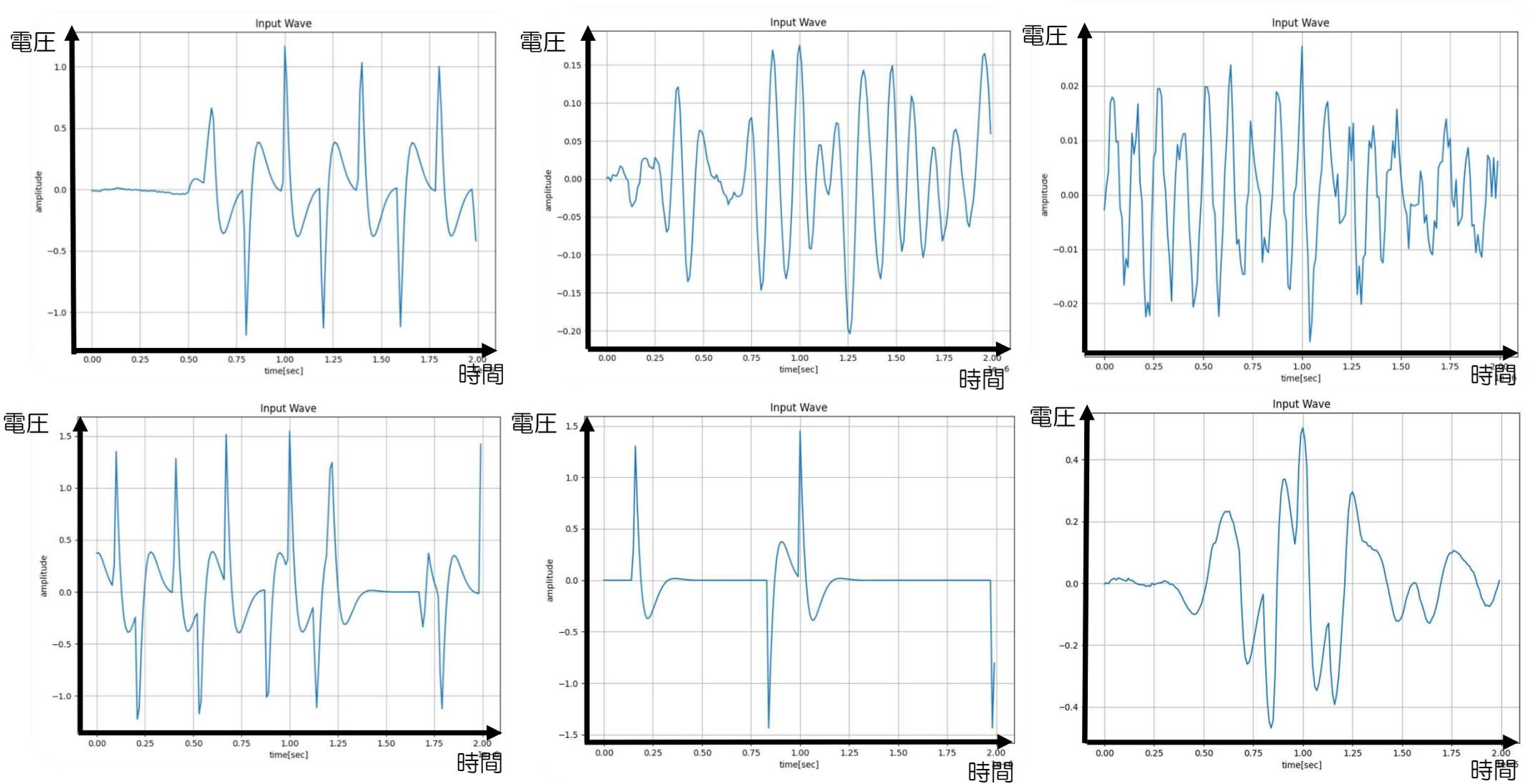
○高周波CTで取得した部分放電信号例

- 数10MHzの高周波成分を含む数十nsのパルス信号幅かつ第1波ないし第2波を波高値の頂点とした減衰振動波形

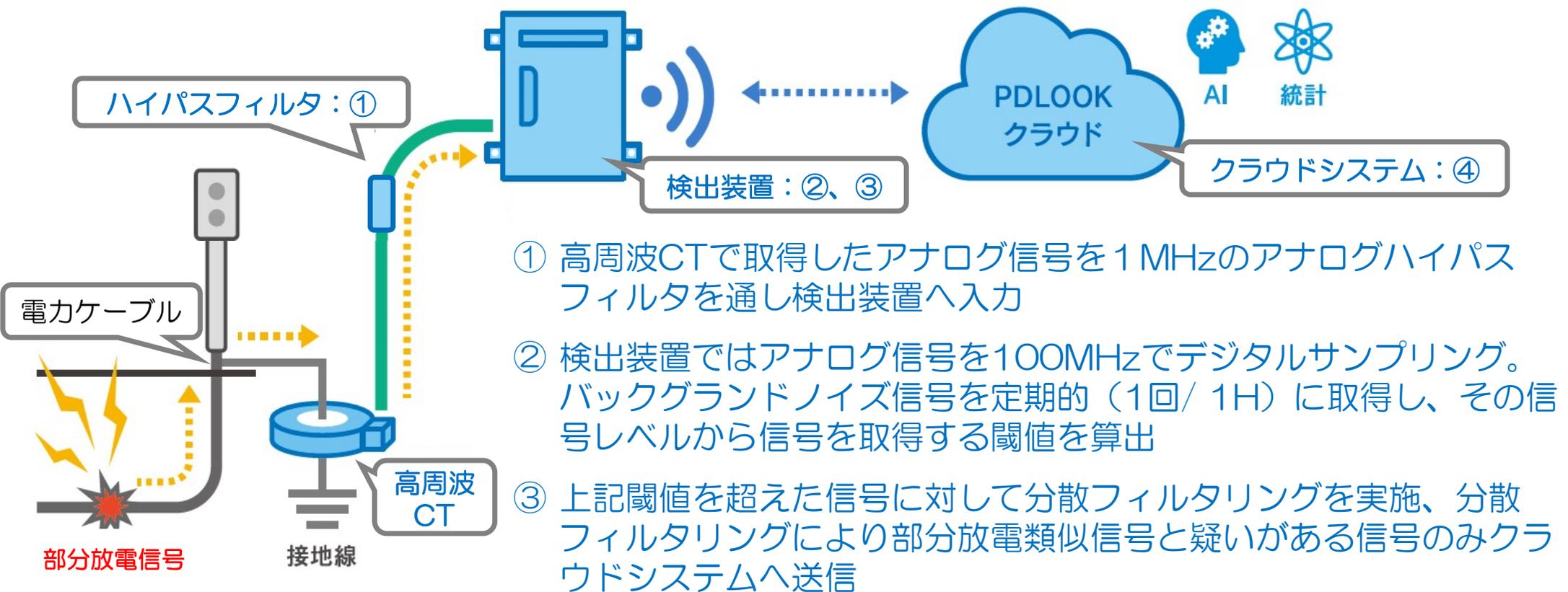


※部分放電信号はその伝搬過程により高周波数域ほど強度が減衰するため、遠方で取得された波形は高周波成分が少なくなる傾向。

○検出したノイズの信号波形（減衰振動波形とは異なる波形）の例



- 部分放電発生時に生じる高周波パルス信号を電力ケーブル接地線に取り付けた高周波CTにより取得
- 検出装置により取得した信号をデジタル処理し、信号の波形パターンにより、部分放電類似信号とノイズ信号に弁別

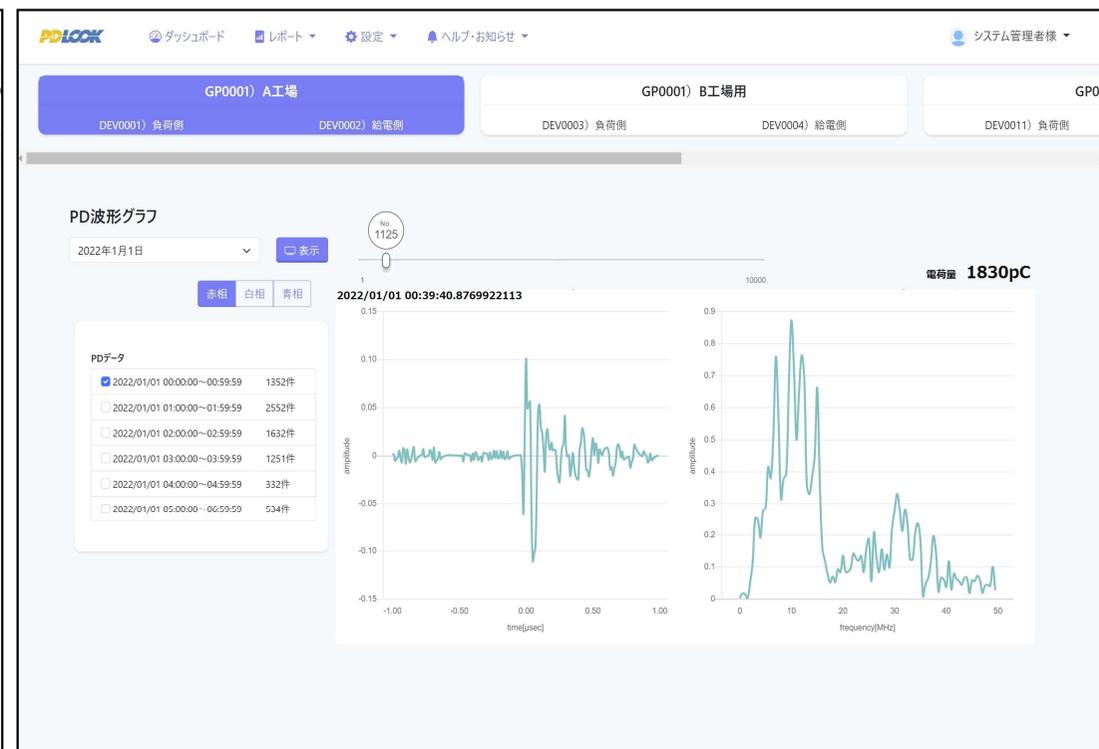
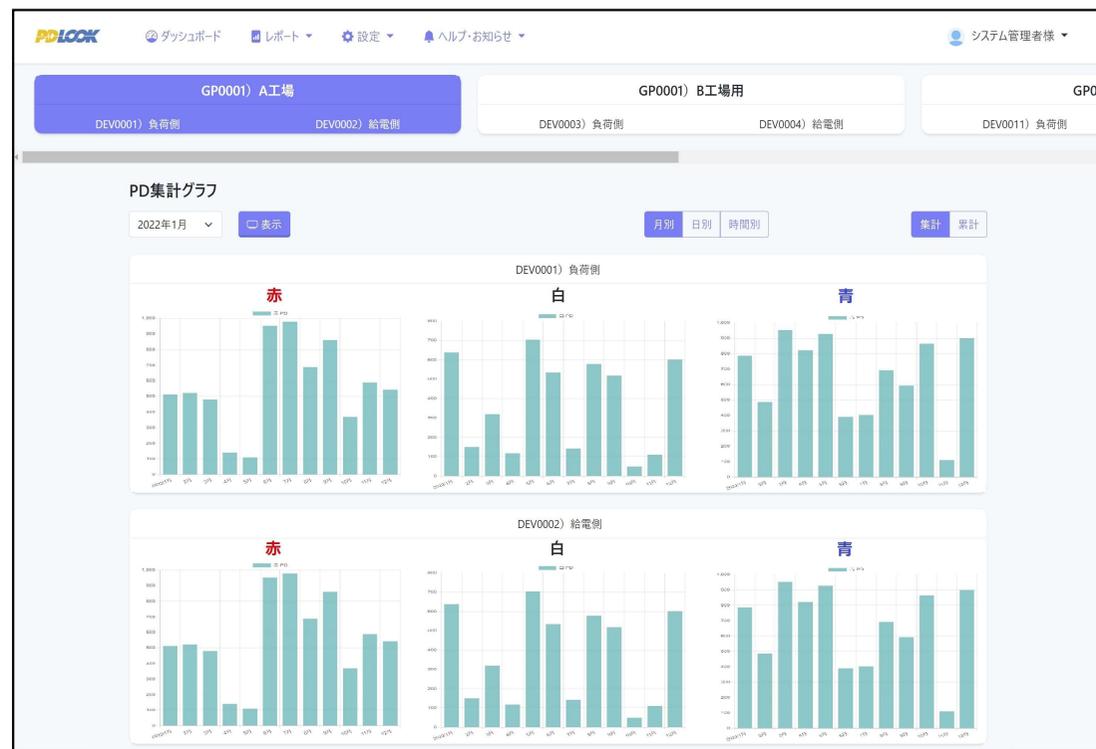


- ① 高周波CTで取得したアナログ信号を1 MHzのアナログハイパスフィルタを通し検出装置へ入力
- ② 検出装置ではアナログ信号を100MHzでデジタルサンプリング。バックグラウンドノイズ信号を定期的（1回/1H）に取得し、その信号レベルから信号を取得する閾値を算出
- ③ 上記閾値を超えた信号に対して分散フィルタリングを実施、分散フィルタリングにより部分放電類似信号と疑いがある信号のみクラウドシステムへ送信
- ④ クラウドシステムでは、検出装置から送られてきた信号をAIにより部分放電類似信号とノイズ信号を自動的に弁別
 - AI判定が曖昧な領域は人による判断を実施
 - 月次報告時にAI判定結果の整合性を人により確認

□ お客さまはブラウザでいつでも部分放電の発生状況を確認できます

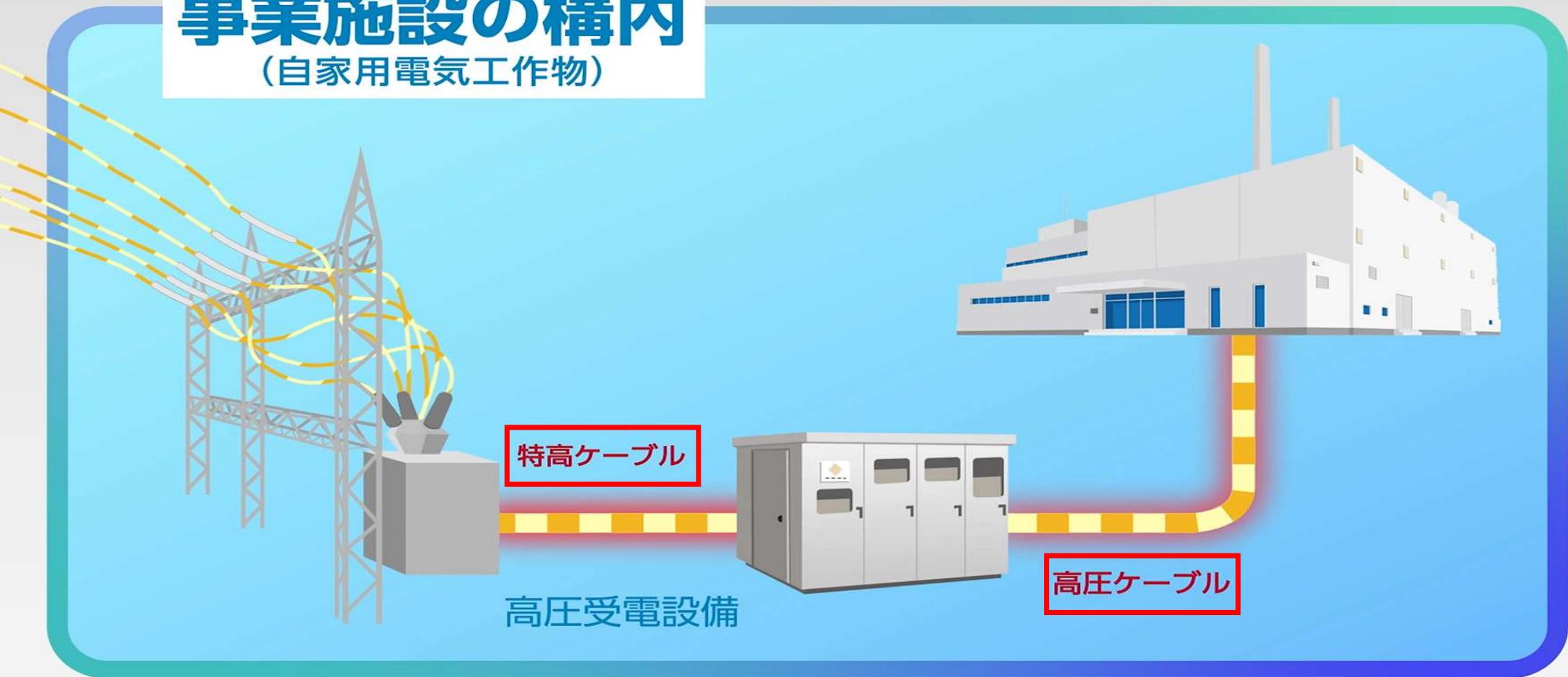
時間/日別/月別のPD集計グラフ

波形/FFT/PD強度グラフ



事業施設の構内

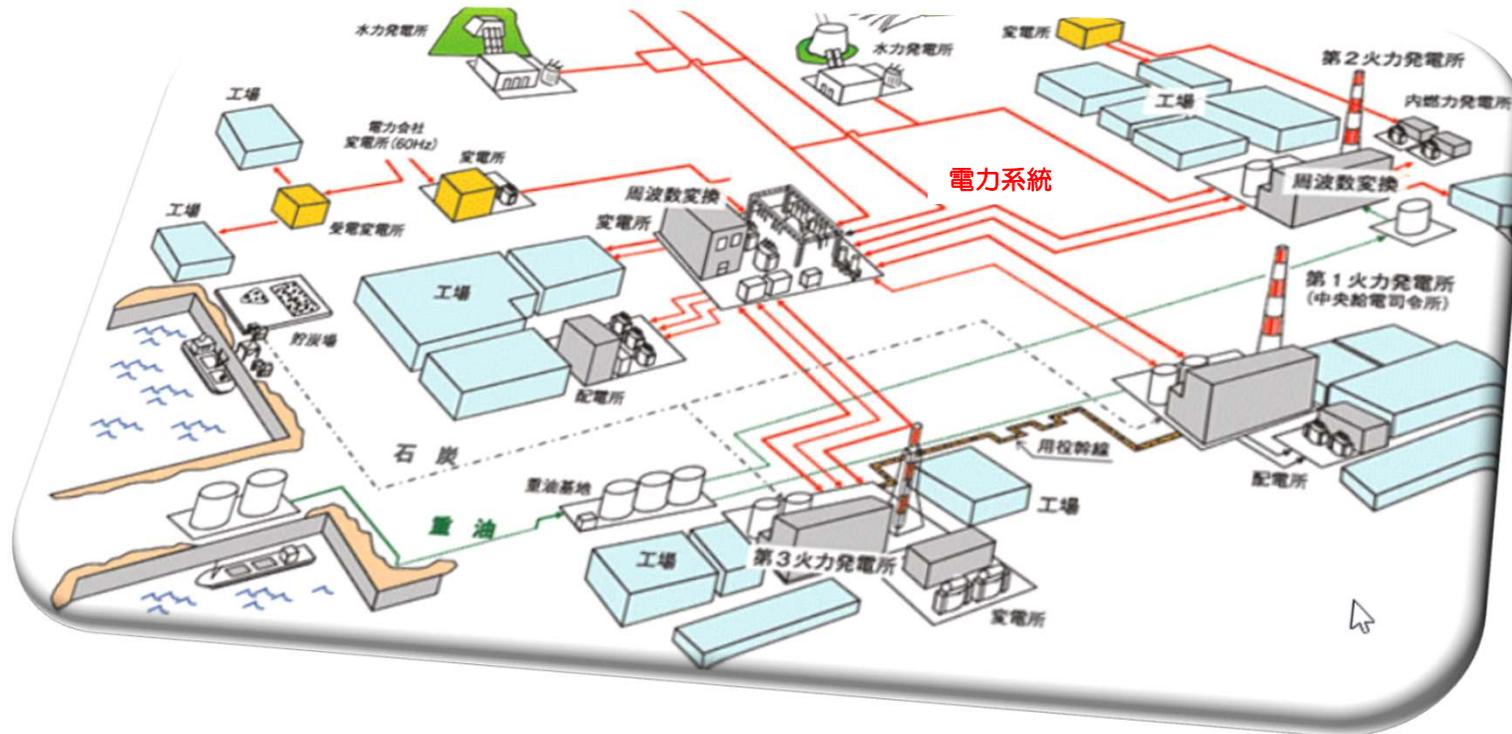
(自家用電気工作物)



3kV以上の特別高圧・高圧ケーブル

お客さま自家用構内の電力系統は、その規模に応じて 数本～ 数百本のケーブルが存在します。

本サービスは「ケーブル1本（3相）＝1契約」とします。



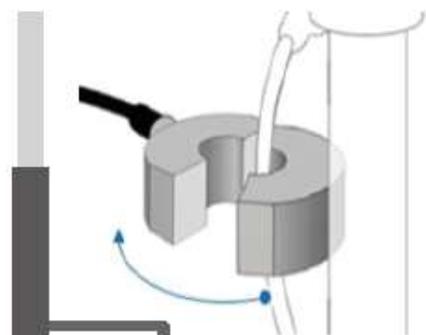


設置工事

お客さまご指定の工事会社でもOK!

青字：九電資産

緑字：お客さま資産



高周波CTセンサー取付

- ・重量:0.36kg
- ・外形寸法:(直径×厚さ)85×23mm

接地線

高周波同軸ケーブル据付



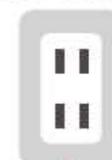
検出装置据付(壁掛or据置)

- ・重量 38kg
- ・外形寸法:(幅×奥行×高さ)
550×300×600mm

100V電源ケーブル据付

- ・单相・2線式 AC100V 50/60Hz

100V電源

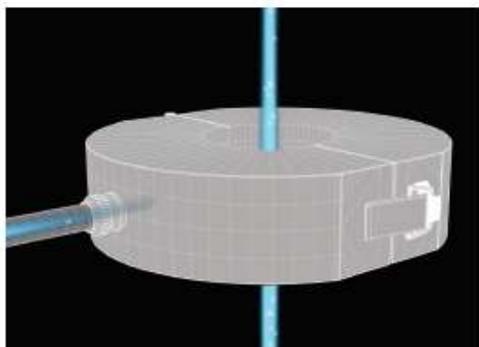


配管または、管路埋設施工

データの収集・閲覧

100Mサンプリング=10ns毎に信号取得

データを収集



多量のノイズを除去し、PDに類似した信号のみをクラウドに送信。

AIによるPD判断



異なる特徴を持つ複数のAIでPD信号のみを抽出。劣化状況の可視化。

PD発生推移の閲覧



PDの発生状況が自動的に集計され、お客さまが見たい時にいつでも閲覧可能。

お客さまのブラウザで常時トレンド監視が可能！



分析・報告

毎月専門の技術員がデータを解析

- 月毎に報告書が作成され、ブラウザで確認可能
 - ・当月の部分放電発生状況、測定開始時期からの、発生推移(統計データ)
 - ・劣化状況を踏まえた総合判定結果(継続監視 or 要注意、取換推奨など)
- 報告書は取替計画のエビデンスとして活用可能



初期設置費用 (検出装置取付時の初回のみ)

○ ご負担して頂くもの

- ・ 100V電源ケーブル工事
(単相・2線式 AC100V 50/60Hz)
- ・ 通信ケーブル工事 (高周波同軸ケーブル)
- ・ その他、現場調査で必要と判断された工事

月額利用料 (ケーブル1本あたり、年単位契約)

○ サービス価格に含まれるもの

- ・ 統計値の見える化サービス (ブラウザの閲覧)
- ・ 部分放電異常分析、報告
- ・ お客さま構内に設置する検出装置 (機器代)
- ・ 通信費用
- ・ クラウド利用料
- ・ 上記装置のメンテナンス費用

○ サービス価格に含まれないもの

- ・ 設置費用 (電気・通信工事)
- ・ 出張診断費用
- ・ 検出装置の電気代及び賃借料 (お客さま負担)

□ 部分放電法にデジタル技術（AI・IoT）を組合せた独自の信号識別機能や解析技術により

- (1) 事業活動を止めない「無停電」で、
- (2) 特別高圧にも適用できる常時（遠隔）診断を実現している



部分放電信号と
ノイズ信号を
分別処理する
フィルタリング機能

AIによる
部分放電信号解析・
判定機能

AI精度向上を
目的とした
学習サイクル機能

○ 電気学会 (2022年9月)

○ 電力機器の診断に関する国際会議 (2022年11月)

PDLOOK システムにおける部分放電信号の AI 判定技術

宮川 浩二*(九州電力), 中嶋 崇之(九州電力), 赤岩 繁(九州電力),
高山 亮(九電ビジネスソリューションズ)

AI Judgment Technology of the Partial Discharge Signal in PDLOOK

Kouji Miyagawa* (Kyushu Electric Power), Takayuki Nakashima (Kyushu Electric Power)
Shigeru Akaiwa (Kyushu Electric Power), Ryou Takayama (Kyuden Business Solution)

In the deterioration diagnosis of power cable, we have developed the partial discharge online telediagnosis system named PDLOOK, for the purpose of dealing with the structural problem such as the high aging of the power cable, human resources aging, degeneration of technical skill tradition, and the digital society to progress. This diagnostic method is realized by combining IoT, AI with the partial discharge method. This report introduces the AI judgment function of PDLOOK.

キーワード: ケーブル, 部分放電, 診断技術, AI, IoT
Keywords: Power Cable, Partial discharge, Diagnostic technologies, AI(Artificial Intelligence)

1. はじめに

近年、特高・高圧ケーブルの高圧年化が進んでおり、停電事故の未然防止や計画的な更新作業等、設備保全の重要性がより高まっている。一方で、設備保全に関わる人材の高齢化や技術・技能継承力の低下に加え、新技術によるデジタル社会の進展など、構造的な課題や様々な環境変化への対応が求められている。こうした課題や環境変化に対応するため、部分放電と IoT・AI を融合させた先進的な診断技術、部分放電オンライン遠隔診断システム (商標: PDLOOK) を開発した。本稿では、PDLOOK システムの構成の一部である AI 判定機能について紹介する。

2. AI モデルの判定手法

AI 判定には、部分放電信号の特徴である数 ns のパルス幅を有する第 1 波ないし第 2 波を頂点とする減衰振動波形を捉えることに着目した。AI には 4 種のモデル (CNN, GRU, Light GBM, Efficient GAN) を効果的に組み合わせ、それぞれの AI モデルが得意とする 3 つの判定方式 (優先度判定、多数決判定、平均値判定) を実装し、アンサンブル学習による総合判定とした。

3. AI モデルの精度評価方法

フィールドからサンプリングした 3,965,791 個の PD とノイズが混在した波形データを使用し、8 つの AI モデル (CNN, GRU, Light GBM) により PD またはノイズに弁別し、「適合率」「再現率」「F 値」で評価した。評価にあたり、PD 確率

図1 AI 精度判定基準

4. 評価結果

PD 確率 (90%以上) においては、適合率・再現率・F 値において 99% の精度を達成し、汎用的な AI モデルとして精度が安定した成果が得られた。特に CNN モデルの精度が高く、曖昧なグレー判定件数割合は 1% 以下となった。

図2に示すとおり、最も精度が高い GNN モデルでは少数ではあるものの判定漏れとなった PD データを GRU, Light GBM が検知できていることが分かる。このことから、複数の AI モデルにより、高い精度の PD 判定を可能とした。

図2 アンサンブル学習の有効性評価

5. おわりに

AI 精度のバックアップ機能として、人による PD 判定業務削減手法も別途構築している。将来的には、AI が自ら考え、未知のデータに対応できる技術の発展に努めていく。

On-line PD monitoring system (PDLOOK) for XLPE Cables

On-line PD monitoring system (PDLOOK) for XLPE Cables

S. Akaiwa¹, K. Miyagawa¹, T. Nakashima¹, T. Sakoda², T. Miyake²,
1 Kyushu Electric Power Co., Inc.,
Fukuoka 810-8720, JAPAN
2 Electric Power Lab, University of Miyazaki,
Miyazaki 889-2192, JAPAN

電気設備における XLPE ケーブルは電力会社、需要家を問わず、事業活動に必要な不可欠な電力を供給しており、非常に重要な役割を担っている。XLPE ケーブルにおける事故は、ケーブルメカによる製造手法の向上により年々減少してはいるものの、絶縁体の欠陥箇所において部分放電(PD)が発生する。PD は絶縁破壊の前駆現象であり、一旦発生すると絶縁体を侵食し続ける。XLPE ケーブルの健全性の確保は必要不可欠であり、劣化の初期段階において PD の発生を把握することが求められている。

PD 発生初期段階において、PD の発生頻度は高くはない。そのため、PD が継続的に発生しているか否か明確な判断を下すためには常時監視が効果的な手段となる。活線下の XLPE ケーブルで発生する PD の検出には、高周波 CT を当該ケーブルの接地線に取り付け、PD から発生される電気的信号を取得する方法が一般的に知られている。この場合、PD による電気的信号とは異なるバックグラウンドノイズも多く取得することとなり、長期間常時監視する際には、取得するデータ量が膨大になり、システムの運用に大きな支障となることとなる。このため、取得したデータから効率的に PD による電気的信号を弁別することが求められる。

本研究では、著者等が開発した PD の常時監視システムを紹介する。当システムでは、高周波 CT から得られた信号をエッジ端末から携帯電話回線を用いクラウド上にデータをアップロードする。この過程において、独自に開発したフィルタリング機能を用い大量の取得データから PD 信号を効果的に弁別する。クラウド上にアップロードされた信号データを AI により PD 判定させ、さらに、学習サイクル機能により、AI による判定精度を向上させる。これにより、システムの運用に関する労力を大幅に軽減した長期間の PD のトレンド監視が可能となった。

role in
failures for
manufacturing
1. PD is a
erode the
handed to
stage of

urrence is
reliably
cable, a
However,
ckground
ise. For a
ce to the
ric signal

obtained
one line.
ired data
e cloud is
y by AI.
ucing the

ご清聴ありがとうございました



見守り続ける“パドルック”