

DEN-CHU-KEN

# TOPICS

2011 6 JUNE

VOL.7

Central Research Institute of Electric Power Industry

## ☑ 電力流通設備のアセットマネジメント

1. 電力流通設備のアセットマネジメントの動向と競争環境下に適合した電力流通設備のマネジメント方策の検討
2. 供給信頼度を考慮したアセットマネジメント支援ツールの開発
3. 個別機器のアセットマネジメント支援

## ☑ 研究設備の紹介

## ☑ 見えないものを“みる”

## 電力流通設備のアセットマネジメント

## 1. 電力流通設備のアセットマネジメントの動向と電

今後の我が国の電力需要は人口減少や社会的な省エネルギー志向の中で伸び悩み、早ければ2020年代中頃には電力需要が減少に転ずることが予想されています。そうした中で、1960年代以降高度経済成長期の電力需要増加に合わせて建設された多数の電力流通設備を、どのようなタイミングで改修・交換してくかが、電気事業者の重要課題として注目されています。そこで、他産業で活用されているアセットマネジメントの考え方も取入れ、電力流通設備の設備管理方策の合理化を図ることが今後の重要課題となっています。

電力中央研究所では、個別電力機器の経年による性能劣化や維持費の平準化、また系統全体の信頼度の維持向上や保守コスト均等化など、個別機器や電力流通システム全体を対象とした様々な電力流通設備のアセットマネジメント支援ツールの開発に努めています。ここでは、近年の電力流通設備の現状や電力流通設備におけるアセットマネジメントの考え方を整理し、さらに電力自由化に対応した電力流通設備のマネジメント方策の検討事例について紹介します。

社会経済研究所  
上席研究員 岡田 健司



# 力自由化に対応した取組み

## 1.1 電力流通設備の現状

電力流通設備とは、発電所から家庭や工場などの需要地の間を結び、電気を流通させる送電設備、変電設備、配電設備を指す。電気は、経済的に大量に貯蔵することが困難であるため、常に発電と消費を同量にバランスさせることが必要である。そのため、電力流通設備は、常に最大電力需要に対応できるように準備しなければならない。日本の電力流通設備は、戦後の復興や高度経済成長と共に増加してきた最大電力需要に対応するように拡充されてきた。

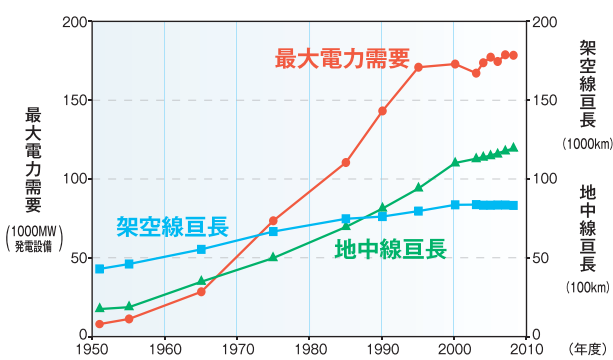


図1-1 最大電力と流通設備規模の推移  
(電気事業便覧平成22年度版のデータを基に作成)

日本では、1995年の卸発電事業への参入規制の原則撤廃以降の電気事業制度改革において、特定規模電気事業者などの新規参入者が、電力会社が所有し運用する電力流通設備を利用して電力を販売する仕組み(託送制度など)が採用された。その結果、電力会社には、電力の安定供給の確保や効率性の追求という従来からの使命に加え、公平性・透明性の確保や全国規模の広域流通の拡大への対応も求められている。また、地球温暖化防止やエネルギーの有効活用の観点から、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー電源やコジェネなどの小規模の分散型電源の導入も進んでいる。

さらに、電力ネットワークと通信ネットワークを融合させ次世代の社会インフラとして最近注目されているスマートグリッドなど、電力流通設備に関わる新たな概念も提案されている。

このように、様々な社会的ニーズや高度情報機器の社会浸透に対応し、高品質で安定な電力を供給するために、電力流通設備は、適切かつ効率的に保守・更新・運用をしていくことが必要である。これまでは、最大電力需要の伸びに対応する電力設備拡充に伴い、寿命に達する前に設備が更新される場合が多くあった。しかし、近年の景気低迷などの経済情勢や人口の減少傾向などを考えると、将来の最大電力需要の伸びは望めず、電力流通設備の新規拡充の頻度も少なくなるものと思われる。今後、コストダウンの要請や既存設備の徹底活用の重要性が高まることから、電力流通設備の経年化・老朽化は、着実に進行することが予想される。

電気事業者にとって、経年設備の増加と新設設備の減少は、減価償却費の減少となるものの、設備の保守や更新のための費用増加を招く可能性がある。さらに、設備が同時期に大量に導入されているため、個別設備の経年分布(図1-2)に基づき保守や更新を実施してしまうと、設備の維持や更新に要する費用がある時期に集中してしまうことも懸念されている。

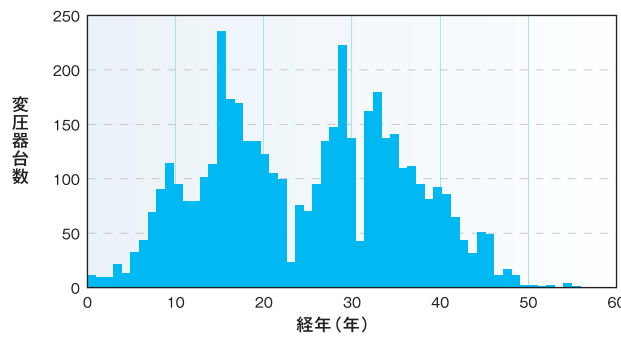


図1-2 変圧器の経年分布の例

<引用>電気学会誌 130巻20号 80~83ページ、矢部邦明著  
「信頼度を考慮した投資レベルと工事優先度評価」2010年

## 1.2 電力流通設備におけるアセットマネジメント

近年、低成長あるいはゼロ成長と言われる経済情勢を迎え、多くの産業では「新たに設備を作る時代」から「現有設備を管理し使用する時代」へと移行しつつある。既存設備の状態を適切に把握し、限られた予算の範囲内で「いつ、どこに、どのような対策を施すのが最も望ましいか」を判断する設備維持管理戦略の構築が重要となる。そこで、様々な産業で機器・設備の維持管理への「アセットマネジメント」の適用が注目されている。アセットマネジメントとは、ある企業が保有する資産の維持・運用の効率化、利益の最大化、リスクの低減などを図り、費用対効果が最も望める新設や更新などの設備維持管理方針を選定する、戦略的な意思決定及び実績評価を含む一連のプロセスである。

発送配電の事業分離を進めた欧米でも、日本のように、電力流通部門は規制部門として取扱われ、電力の安定供給の中心的な役割を担っている。電力流通部門にアセットマネジメントを適用する場合、事業経営の効率化に基づく利益最大化よりも、従来から電気事業者が取り組んできた設備の老朽化による信頼度低下、設備診断、保守費用と信頼度の関係を考慮した工事優先度の評価に重きが置かれていると言えよう。

高経年機器の比率の高い欧米諸国では、劣化診断を含めた電力流通設備の保守あるいは運用支援ツールの検討を進めている。例えば、米国電力研究所(EPRI)では、2000年より、電力流通設備の投資と保守に対する最大価値(企業価値・利益など)を得るため、個別機器の経年分布解析やプロジェクトの優先順位付け評価などを含む電力輸送機器設備マネジメントの検討が進められている。また、日本の電気事業者でも、電力自由化以降の

コストダウン要請の高まりから、さらなる保守点検の合理化や既存設備の徹底活用、設備更新計画の優先順位付けなどの検討が進められている。

当所では、1990年代より、発電から流通までの電力設備の運用・保守に関するコスト低減と信頼度確保に資するため、電気事業者の意思決定を支援する診断・保守技術の開発を進めてきた。電力流通設備に関して、電力自由化に対応した電力流通設備の形成および利用方法検討を支援するシステム開発[第1章1.3参照]、電力流通設備の集中的な更新時期の到来に対するリスクとコスト平準化の検討を支援するツール開発[第2章参照]や経年機器維持基準の構築や経年劣化特性の異なる各種機器に対応できる保守管理計画支援プログラム開発[第3章参照]などを進めている。当所では、各研究で得られた情報・成果の共有を図りつつ、個別機器からシステム全体さらに制度検討に至る幅広い観点から、電力流通設備の合理的な形成や運用を支援するツール開発に取り組んでいる。(図1-3)

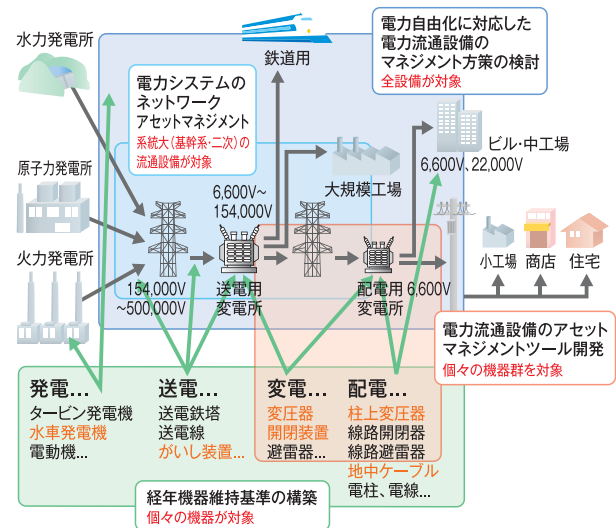


図1-3 当所における電力流通分野でのアセットマネジメントの取組み

### 1.3 電力自由化に対応した電力流通設備のマネジメント方策の検討

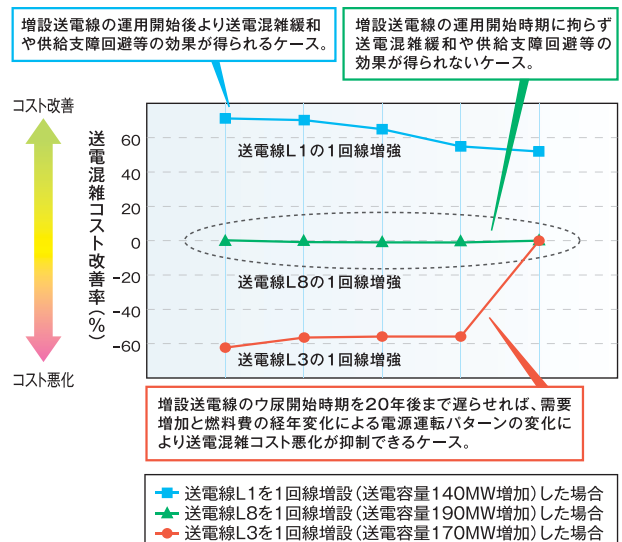
前述した様に電力自由化の進展や需要家ニーズの多様化、高度情報機器の普及などにより、低廉で高品質な電力供給が従来以上に求められている。電力自由化に対応した電力流通設備計画の評価では、広域的卸電力取引の活性化により得られる経済的効果と供給信頼度の維持に関するコストを同時に評価する新たな考え方が必要となる。当所では、日本で託送制度の導入が検討され始めた2000年頃から、送電混雑コスト評価プログラムの開発を進めてきた1)。

送電混雑とは、電力需要の想定以上の増加、一部の送電線や発電所の想定外の使用不能、想定外の電力取引の発生など複数の要因により、運用容量を超える電力が送電線に流れる状態を指す。一般的に、この送電混雑を解消するには、複数の発電所間での発電出力調整(発電振替)が行われるが、混雑の発生場所や送電システムの構成などによっては、発電振替だけで送電混雑を解消できない場合がある。このとき、系統構成の一部変更、電力取引の制限、さらには一部の需要家への送電停止(停電)を行わざるを得なくなる。特に、電力自由化が進展する欧米では、この送電混雑が広域的な電力取引の経済性を阻害する要因のひとつとなっている。

本評価プログラムは、需要増加、想定外の電力取引、発電所の計画外停止や送電設備の単一故障などの条件の下、電力取引の制限や需要家への送電停止の有無を評価し、送電混雑解消に要したコスト(発電振替に要した増分発電コストや停電コスト(停電量×停電コスト単価)など)を求めることができる。さらに、本評価プログラムを用い、送電線増設の経済的メリットの評価も可能である。

例えば、系統内で送電混雑が定常的に発生する場合、どの送電線をいつ増設すれば、どの程度送電混雑を解消できるのか、またどの程度送電混雑コストを削減することができるのかを計算できる。従って、いくつかの増設プランについて、増設送電線の運用開始後の数年間にわたり削減可能なコストを計算し、どの増設プランが経済的に有利であるかを比較検討して、いくつかの送電混雑緩和および供給支障回避に効果的な送電線増設プランが選定できる(図1-4)。

今後、再生可能エネルギー電源の大量導入や予備力確保など新たな課題などを踏まえ、電力自由化に対応した電力流通設備の形成と利用ルールの検討を支援できるようなツール開発も重要であろう。



\*停電コスト単価を700円/kWh、割引率を3%とし送電線運用開始に得られるコスト削減効果を、現時点の現在価値に変換。各送電線の増設ケースとも、25年間は新規電源の建設は無いものと想定。

図1-4 送電線増設プランの送電混雑コスト削減効果の比較

<参考文献>  
1) 岡田健司、古澤健:「送電混雑コスト評価プログラムの開発-送電線増設によるコスト削減効果の検討-」電力中央研究所報告: Y07031 (2008年5月)

## 電力流通設備のアセットマネジメント

## 2. 供給信頼度を考慮したアセットマネジメント

1章で述べたように、経年設備の保守・更新コストの増大や集中を回避する保守・更新計画を立案することが必要となっています。設備の保守・更新は電力供給の安定性(供給信頼度)維持のために行われるものです。この供給信頼度維持の観点から、それぞれの設備の重要度を考えることができます。例えば、システムの要となるような設備は保守・更新を計画する際の重要度が高いと言えます。

そこで、各設備の重要度を考慮して計画策定することにより、保守・更新コストの増大や集中を回避する方法が考えられます。この供給信頼度を考慮したアセットマネジメントでは、系統全体で設備の故障による供給支障のリスクを所望のレベル以下とし、かつコストを最小限に抑えるよう、各設備を保守、更新することが基本的な考え方となります。

本章ではまず、このようなマネジメントの基本となる供給信頼度計算について述べ、さらに供給信頼度計算を基本にした、系統全体での流通設備の更新計画立案を支援するツール、ならびに地域供給を担う二次系統を対象に大規模保守および更新の計画を支援するツールについて述べます。

システム技術研究所  
上席研究員 永田 真幸



中央給電指令所指令室(中国電力提供)

# 支援ツールの開発

## 2.1 電力系統の供給信頼度計算

電力系統の供給信頼度は、設備の停止が生じた際に、電力の供給支障がどの程度の大きさ、時間となるかを示すものである。電力流通設備のアセットマネジメントでこれを取扱うには、定量的評価が必要となる。供給支障の程度を定量的に示すものとして、供給支障となる電力や電力量などが用いられる。これらの値は、停止発生時の需要の大きさ等の系統の状況、停止する設備が系統のどこにあるか、などの条件により変化するため、供給信頼度の指標値には確率論における期待値(年間等での平均値)が用いられる。つまり、供給信頼度は、設備の停止に伴う供給支障の量(電力あるいは電力量)と停止の発生確率から得られる、供給支障のリスク(=供給支障の量×確率)として計算される。このリスクの計算には、様々な設備停止の状況を確率的に発生させ、供給支障の量の計算を多数回行うことで、期待値を算出する方法が採られる(図2-1)。その際、停止後の系統異常を発電機出力等の調整や系統の切替等により解消することを考慮する。供給信頼度を考慮したアセットマネジメントでは、このリスクの期待値が所定のレベル以下となるよう、各設備の保守・更新を計画、実施し、設備の停止が生じる確率を供給信頼度維持に必要となるレベル以下に保つことが基本的な考え方となる。

電力系統は、超高圧系統から配電系統まで階層的に構成されており、それぞれで供給信頼度計算に考慮すべき設備、条件が異なる(図2-2)。このため、計算対象とする系統の範囲に応じた供給信頼度計算のプログラムとして、当所では基幹系統(主に275kV以上の、系統全体の骨格となる部分)を計算対象とする「基幹系統の静的供給信頼度解析

プログラム」、二次系統(基幹系統から放射状に構成される地域供給系統)を計算対象とする「二次系統供給信頼度解析システム」を開発している。

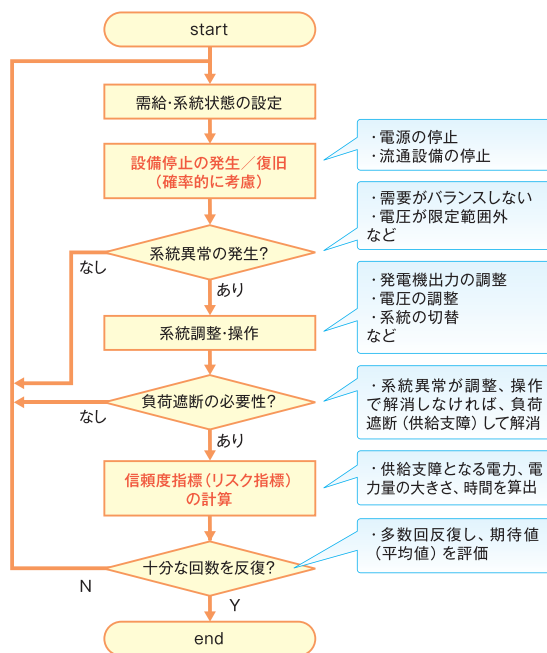


図2-1 供給信頼度計算の流れ

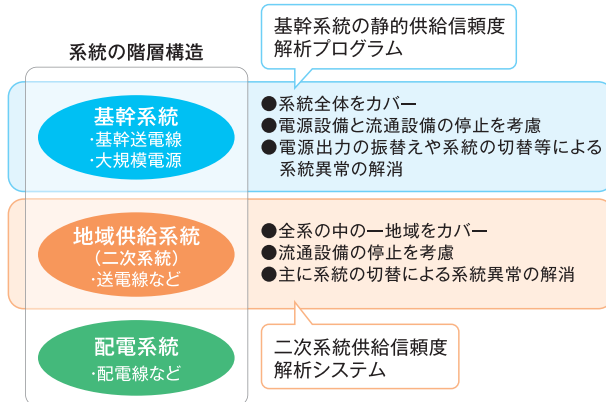


図2-2 当所で開発している供給信頼度計算プログラム

## 2.2 供給信頼度計算を考慮したアセットマネジメント

基幹系統や二次系統は、一つの設備が停止しただけでは供給支障が生じない、もしくは限定的と

なるように構成されており、比較的大きな供給障  
 のリスクが生じるのは複数の設備の停止が生じた  
 場合となる。このことは、ある設備を保守、更新し、  
 当該設備の故障率が改善することの効果信頼度  
 面から計算するために、系統全体を考慮した信頼  
 度計算が必要であることを意味する。供給信頼度  
 を考慮したアセットマネジメントでは、このような  
 効果を適切に扱うことができ、効果的な保守、更新  
 計画の立案を支援することができる。

当所では、供給信頼度を考慮したアセットマネ  
 ジメントの考え方を具体化して、二つのアセット  
 マネジメント支援ツールのプロトタイプを2008年  
 度までに開発した(表2-1)。以降にこれらのツールの  
 概要を述べる。これらの二つの支援ツールにつ  
 いて、より実用性の高いツールとするため、開発  
 をさらに進めていく予定である。

表2-1 開発したアセットマネジメント支援ツール

ツール	流通設備更新 平準化支援ツール	二次系での流通設備の大規模 保守・更新計画支援ツール
対象系統、設備	基幹系統の流通設備	二次系統の流通設備
使用する供給信頼度 評価プログラム	基幹系統の静的供給 信頼度解析プログラム	二次系統供給信頼度 解析システム
目的	流通設備更新での 平準化、コスト抑制	供給信頼度面、コスト面で 効果的な大規模保守および 更新の計画立案

## 2.3 流通設備更新平準化の支援ツール

現在進みつつある流通設備の高経年化に対し  
 て、設備の更新を経年に基づいて行えば、更新が  
 集中する時期が生じることが避けられず、更新を  
 平準化することが必要である。同時期に大量の  
 設備が導入されている状況では、個々の設備の  
 診断を基に、使えるものは更新を先延ばしする  
 などして更新時期を分散することだけでは十分な  
 平準化とはならないことも考えられ、さらなる更新

の平準化を実現する方法が必要となる。当所  
 では、供給信頼度から見た設備の重要度を考慮し  
 て、更新の前倒しやさらなる先延ばしを行うこと  
 が、一層の平準化の実現につながると考えている  
 (図2-3)。このような考え方を取入れた電力流通  
 設備のアセットマネジメントのため、更新平準化の  
 支援ツールのプロトタイプを開発した(図2-4)。  
 本ツールは流通設備の更新に焦点を絞り、例えば  
 数十年といった長期に亘り、各年での更新費用の  
 上限内で、供給信頼度を維持するために必要な  
 更新を実施する計画を算定する。これは、更新の  
 平準化を実現するためにどのような順番、時期に  
 更新を行えばよいかを、系統全体で見て大まかに  
 示すことを狙いとしたものである。

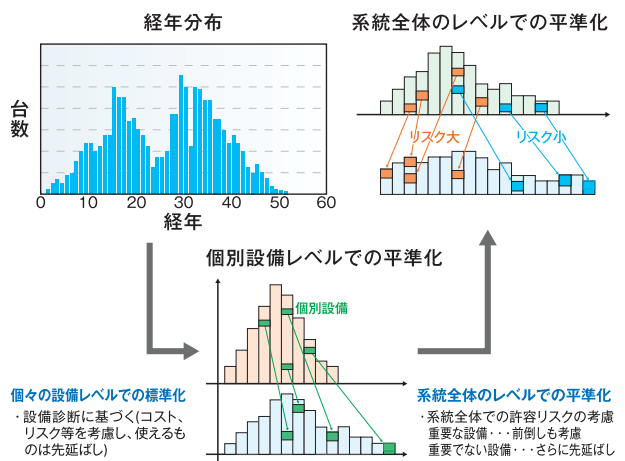


図2-3 流通設備更新の平準化の考え方

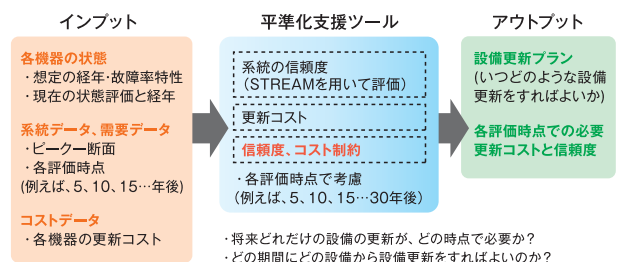


図2-4 流通設備更新平準化の支援ツールの概要



供給信頼度計算には基幹系統を対象とする「基幹系統の静的供給信頼度解析プログラム」を適用している。本ツールで実施する供給信頼度計算には、各設備の経年が進むに従って、どのように故障率が変化するかを示す、経年・故障率特性が必要となる。現時点では、この特性が実際の設備について十分に明らかになっているとはいえ、想定せざるを得ない。そのため、本ツールで得られる結果も想定をベースとしたものとなる。経年設備の運用データの積み上げなどにより、経年・故障率特性に関する知見を得ていくことが必要である。

## 2.4 二次系統での流通設備の大規模保守・更新計画の支援ツール

設備の故障率の低減の効果は、当該設備の更新だけでなく、部品の交換や精密点検等を総合的に実施する大規模保守によっても得られると考えられる。この大規模保守の効果も考慮できるツールとして、二次系統を対象として、保守、更新の計画を支援するツールのプロトタイプを開発した。本ツールは、供給信頼度計算に「二次系統供給信頼度解析プログラム」を用い、高経年設備の故障率増加に伴って増大する、2つの設備の同時停止によるリスク、保守費用に関する制約などを考慮して、「どの設備をいつ、どのように大規模保守または更新すればよいか」を示すことができる(図2-5)。

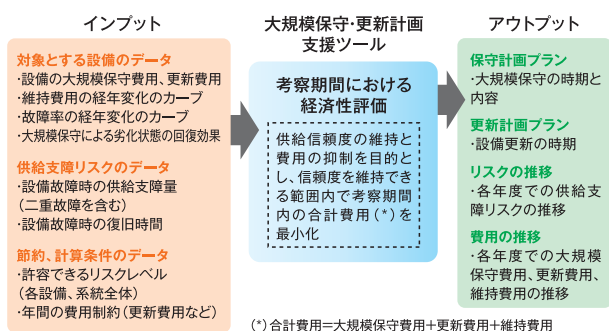
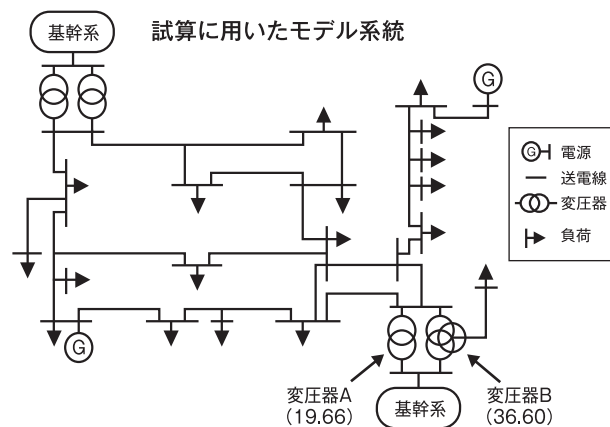


図2-5 複数設備の保守更新計画支援ツールの概要

本ツールによる試算例を図2-6に示す。図のモデル系統では、図中の変圧器Bの経年化により、送電線停止のリスクが大きくなる。このリスクを許容値以下に抑えることを目的として、長期の考察期間（ここでは100年を想定）での、変圧器AとBの大規模保守および更新のスケジュールを考える。この場合、劣化が進んだ変圧器Bによるリスクを重要視して、変圧器Bの保守、更新に費用をかける方策が考えられるが（表中の個別単独ケース）、変圧器Bと並列する変圧器Aの同時停止によるリスクに注目した方策も考えられる（表中の複数設備協調ケース）。後者の方策では、変圧器AとBの保守、更新の時期を調整することにより、より少ないコストでリスクを許容値以下に抑制できる。このように、本ツールは効果的な保守、更新計画の立案を支援することができる。



括弧内の数値は、リスク制約を考慮しない場合の考察期間における供給支障リスクの最大値【MW・分/年】

変圧器Bの故障による供給支障リスクを許容値(30 [MW・分/年])以下に抑制させる方策	考察期間における費用(※)		
	変圧器A	変圧器B	合計
変圧器Bの保守・更新のみで抑制(個別単独ケース)	2.778	3.111	5.890
変圧器A+Bの保守・更新で抑制(複数設備協調ケース)	2.784	3.082	5.866

(※) 費用は、変圧器の更新費用を1とした相対値

図2-6 変圧器の大規模保守・更新計画試算例

## 電力流通設備のアセットマネジメント

## 3. 個別機器のアセットマネジメント支援

前章まで、電気事業全体や系統全体を対象としたアセットマネジメントについて述べてきましたが、この章では個別機器のアセットマネジメントについて紹介します。

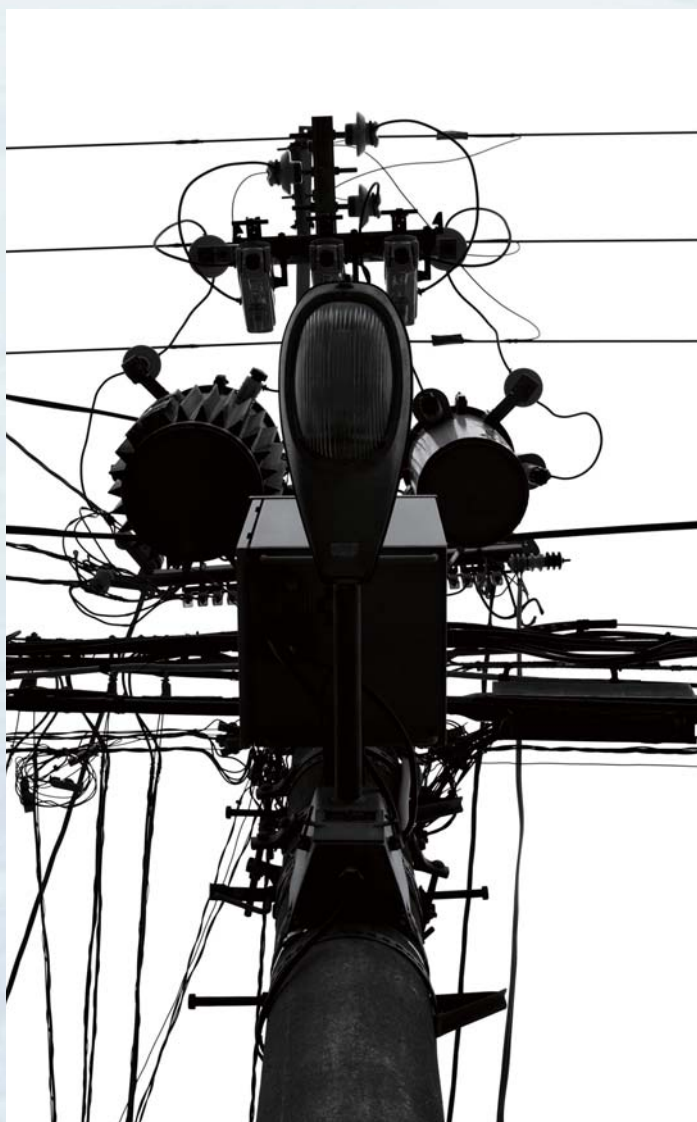
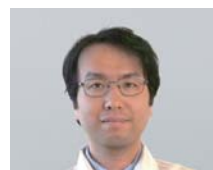
高経年機器を保有する欧米などの先進国では、劣化診断も含めた形で電力機器のアセットマネジメント技術が開発されています。その成果は著名な国際会議、例えば2010年に開催された「状態監視と診断に関する国際会議」でも多数紹介され、経年電力機器の信頼度を維持しながら運用コストの増加を抑制する研究が注目されました。我が国でも、電力機器の保守管理にアセットマネジメント技術を適用することが検討され、電気学会や電気協同研究会で活発に議論されています。

電力中央研究所は、以前よりアセットマネジメント技術の重要性を認識し、多様な電力機器の経年による性能劣化の特徴や維持費の平準化に注目したアセットマネジメント支援ツールの開発に努めています。ここでは主要な電力機器のアセットマネジメント支援ツールを3件紹介します

電力中央研究所  
首席研究員 岡本 達希



電力技術研究所  
上席研究員 高橋 紹大



### 3.1 個別機器のアセットマネジメントに共通する考え方

電力流通設備の維持管理を合理化するために、広範な電力流通設備の点検・保守・更新をより戦略的に実施したいというニーズがある。そのため、電力流通設備の保守管理部門では設備診断技術の高度化に加え、経済的指標を採り入れたアセットマネジメント手法の概念やその具体的な導入に関心が高まっている。電気事業の現場では設備の運用状況データや点検・診断データの蓄積が進められており、一部でこれらのデータを維持管理・更新計画策定に活用することも試行されている。

開発したアセットマネジメントツールに共通の考え方は、対象機器を設置する費用と設置後保守するために必要となる費用を加えて、使用年数で平均した「平均修繕費」が最も小さくなる条件を探すというものである。この平均修繕費を指標として、3種類の電力設備の更新計画策定支援ツールを開発した。対象設備の保守方法に関する概況は表3-1のとおりである。

表3-1 代表的な電力設備と保守方法

	変圧器	ガス遮断機	架空送電設備
①耐用年数例	30~60年 (交換部品を除く)	30~60年 (交換部品を除く)	60~100年 (鉄塔等主要部)
②保守方法の例	定期保守+ 不定期保守	定期保守+ 不定期保守	定期保守+ 不定期保守
③10電力会社概略合計設備量(66kV以上)	15000台	25000台	13.6万km(回線長)
④当所の評価方法	平均修繕費の低減	平均修繕費の低減	平均修繕費の低減

### 3.2 電力用変圧器のアセットマネジメント支援

最初の例は変圧器のアセットマネジメントツールである。ツール開発の上で、各設備の性能劣化の特徴と修繕費などの設備維持費の経年による変化の特徴を反映させることが重要である。変圧器で

は、経年により変圧器各部の劣化が進行し、その修繕費が年々増加する傾向がある。また、経年による事故リスクが増大する特徴がある。この特徴に注目してオーバーホールを実施することにより、設備の想定使用期間全体での平均修繕費が抑制されることを反映した。

具体的には、実際の修繕費の特徴をモデル化して毎年の修繕費が経年に比例して増加すると仮定し、オーバーホールによりある年数分だけ以前の修繕費まで低下する「若返り効果」を導入した。このオーバーホールの平均修繕費への効果を図3-1に示す。同図に示す様にオーバーホールをしないで変圧器を使い続けると、修繕費の累計が後年になるほど急速に増大するが、適度にオーバーホールを実施すると、改めて低い修繕費から増加するので、修繕費の累計の急速な増加が先延ばしされ、全体の修繕費が抑制できる効果がある。

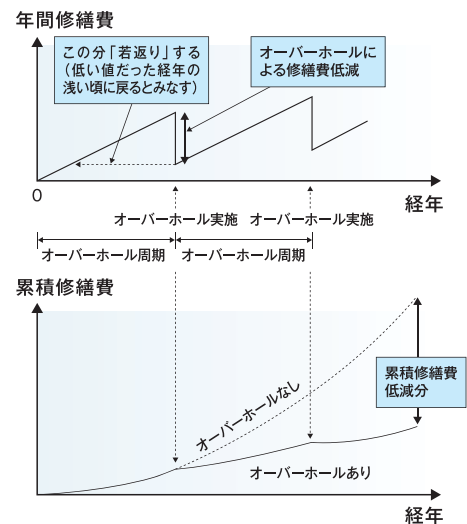


図3-1 「若返り効果」の考え方

このツールでは修繕費の経年による変化を一般的に扱えるように①経年にかかわらず毎年必要となる費用、②修繕費の増加が始まる経年、③経年による修繕費の増加率、の3つの数値で表現した。

例えば、機器寿命中に2回のオーバーホールを仮定する場合、必要な平均修繕費をオーバーホール投入費用とその時期の関係として色分けし、図3-2に示した。最も少ない平均修繕費を与える1回目のオーバーホールの投入費用とその時期を、同図のクロスカーソル位置で示す。

実際にこのツールを使用する際には、1階目のオーバーホールと時期や投入費用に対応して、最も少ない平均修繕費を与える2回目のオーバーホールの時期や投入費用、その時の平均修繕費も即座に計算し、表示される様に工夫されている。

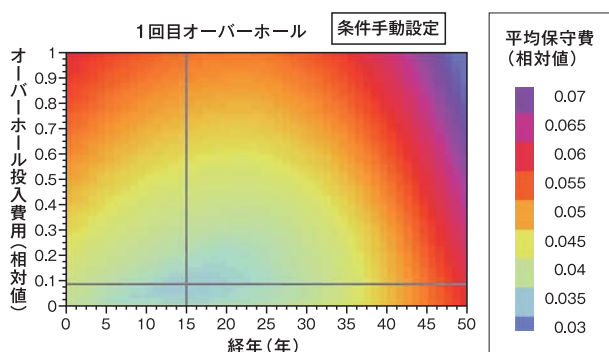


図3-2 オーバーホール時期と投入費用による平均修繕費の変化

投入費用は、設備設置費用で除した相対値で示す。修繕費に関する3つの特性を入力値とし、設備故障率を考慮する

### 3.3 ガス絶縁開閉装置のアセットマネジメント支援

これまでガス遮断器(ガス絶縁開閉装置の主要構成機器)単体の更新時期推定プログラムを開発した。ガス遮断器は消耗部品の取替えと適切なメンテナンス作業により性能劣化が非常に小さく、経年による修繕費等の増加が顕著ではないという特徴がある。そのため、経年による変化の特徴から保守費の内訳を、①経年で増加する費用(タンク外面の補修塗装費等)、②定期的に必要となる費用(定期点検費等)、③不定期(特定の経年

のみ)に必要な費用(法定点検費や電装品の交換費等)、④偶発的に必要となる費用(故障処理費用等)に分類した。そして、設備の設置から撤去までのそれぞれの費用を累積して設備使用年数で割り、平均所要費用を計算した。この費用が最低となる経年を設備更新時期として求めて図示するプログラムを作成した(図3-3)。

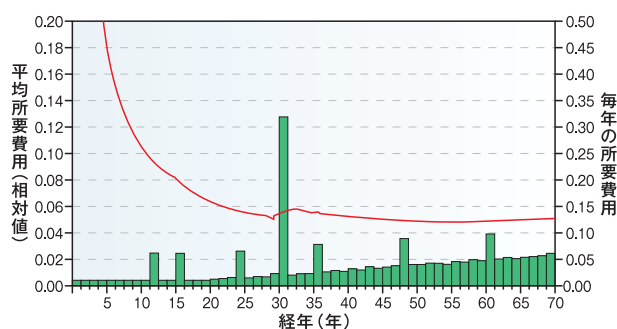


図3-3 ガス遮断器の平均所要費用の経年による推移

ガス遮断器の設置からの経年毎の必要経費が図示される。図中の緑棒グラフが経年毎の必要諸費用で、赤の曲線がその経年までの平均所要費用である。この赤の曲線の最低値が設備更新の時期になる。

このプログラムを使用するためには前述の4種類の保守費を入力する必要がある。実際の保守費内訳をそれぞれの特徴的な費用に分類する作業にノウハウが必要となるが、一度、分類方法を決めれば特徴を抽出する作業の自動化は容易である。

さらに、このプログラムを複数組み合わせることでガス開閉装置の構成機器である、ガス遮断器、断路器、接地開閉装置、避雷装置、その他部品からなる複合機器としての部分更新計画支援ツールを開発した。基本的にはガス遮断器の更新時期推定プログラムと同様に、それぞれの構成機器に、前述の保守費の内訳を入力する。これで、その構成機器の最適更新時期が判明するので、更新時期の組み合わせ(シナリオと呼ぶ)を複数設定して、図3-4に示す様にシナリオ毎の経年と平均

保守費用が図示され、どのシナリオが最も経済的かを容易に比較できる。

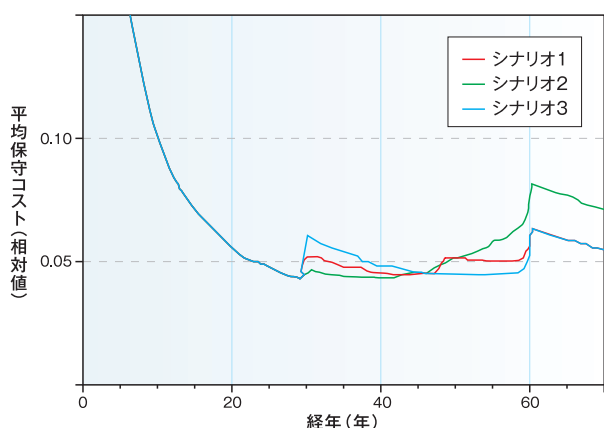


図3-4 ガス絶縁開閉装置の3つの部分更新シナリオを比較

シナリオ1: 避雷器は30年、断路器は46年、遮断器は60年で更新  
シナリオ2: 避雷器は60年、断路器は60年、遮断器は60年で更新  
シナリオ3: 避雷器は30年、断路器は30年、遮断器は60年で更新

### 3.4 架空送電線のアセットマネジメント支援

日本全国で回線長が延べ136,000km(60kV級以上)もある架空送電線路に対応する更新計画支援ツールを開発した。架空送電線路の構成要素である送電鉄塔は適切な補修塗装により80~100年以上の寿命が期待できるが、送電線導体は設備設置場所により塩害等により寿命が短くなる。そのため、構成要素ごとの性能劣化の特徴を活かして、設備全体の更新計画を策定する必要がある。架空送電線路は、再塗装などにより劣化を抑制して長期間の継続使用が可能な鉄塔と、それに比べて短い期間で経年劣化し、更新が必要となる電線、架線金具、がいし等から構成される。前述したガス開閉装置の場合と同様にこれら構成要素に対する保守費用を①経年で増加する費用、②定期的に必要となる費用、③不定期に(ある特定の経年のみに)必要となる費用に

分類する。そして設備設置から除去までの累積の保守費および想定故障処理費を求め、全運用年数で割って、送電線路全体の平均保守費を求める。鉄塔は、80~100年程度の寿命が想定できるので、その期間を送電線路全体の経済性の「評価期間」と考え、この期間中に送電線や架線金具を2回まで交換する場合に、平均保守費が最も小さくなる条件を探すツールを開発した。

具体的には鉄塔の再塗装時期、送電線と架線金具の1回目と2回目の更新時期の組み合わせを更新シナリオと呼び、5種類までのシナリオで平均保守費用を比較し、最も平均保守費用が小さくなるシナリオを探す。図3-5は経年で増加する費用が支配的な場合の計算例である。シナリオ2は送電線と架線金具を27年目と54年目に同時更新する場合で、80年間で最も小さい平均保守費を実現できる。

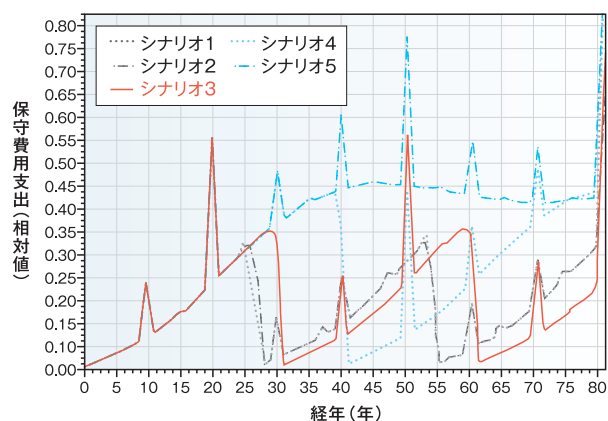


図3-5 架空送電設備のいくつかの更新シナリオの比較

シナリオ1: 送電線を27年と54年の2回、架線金具は5年毎の定期点検をして、25年と53年の2回更新する。平均保守費=0.214  
シナリオ2: 送電線を27年と54年の2回、架線金具は5年毎の定期点検をして、27年と54年の2回更新する。平均保守費=0.211  
シナリオ3: 送電線を30年と60年の2回、架線金具は5年毎の定期点検をして、30年と60年の2回更新する。平均保守費=0.215  
シナリオ4: 送電線を40年に1回、架線金具は5年毎の定期点検をして、40年に1回更新する。平均保守費=0.287  
シナリオ5: 更新をしない場合。平均保守費=0.381

## 研究設備 の紹介

# 「CVケーブル絶縁破壊前駆遮断試験設備」

設置場所:横須賀地区(神奈川県横須賀市)

現在、大量の60kV級CVケーブルが想定寿命に近づきつつあり、経年による性能劣化を考慮した更新計画等のアセットマネジメント方を策定する必要があります。経年による性能劣化の指標として絶縁破壊電圧の低下が考えられていますが、絶縁破壊電圧の低下は、経年による影響だけでなくケーブルの構造や使用環境の影響を強く受けるため、ケーブル毎に絶縁破壊電圧の低下を診断する必要があります。

これまで多数の絶縁劣化診断手法が提案されていますが、実布設環境での絶縁破壊電圧の低下と、経年による欠陥(通常は「水トリー」欠陥⇒15ページ「これは何!?!」参照)の発生様相が未だ確実に解明されてはいないため、更新計画策定に十分寄与する劣化診断精度は達成されておりません。

そこで、当所は精度の高い劣化診断手法を開発するために、電力各社の協力の下に、ここで紹介する「前駆遮断試験装置」(図1)を活用して、ケーブルの構造や使用環境毎に、経年で水トリー欠陥がどの様に発生・進展するかを把握するための研究プロジェクトを推進しています。

- ① 通常の絶縁破壊試験ではケーブル試料に高電圧を印加して絶縁破壊が発生する電圧を測定しますが、この方法では絶縁体を貫通する破壊が生じるため、絶縁破壊部分は焼損し、絶縁破壊の起点となった水トリー欠陥等の調査が不可能になります。
- ② 一方、これまでの研究成果に拠り、絶縁破壊に至るメカニズムは、経年で生じた微小な欠陥(水トリー)から電気トリーと呼ばれる樹枝状の部分絶縁破壊が進展して、最終的に貫通破壊に至るものと推定されています。
- ③ 「前駆遮断試験装置」は、この電気トリーの発生に伴う微小な電気信号(部分放電信号)を検出して高電圧を遮断し、絶縁体の貫通破壊を防止します。一度、電気トリーが発生すると最初に電気トリーが発生した電圧の数分の1の電圧で部分放電が発生することに着眼し、その後必要な回数だけ低い電圧をケーブルに課電して部分放電を発生させ、その部分放電絶縁破壊が発生した場所を探します。

図2は、部分放電発生位置を±10cm程度の範囲まで突き止めて、そのケーブル部分を切り出し、さらに0.5mm程度の厚さのスライスにして撮影したものです。



仕様

- 最高出力電圧: 交流450kV
- 設備容量: 400kVA (66kV CVケーブルなら約80m程度の試験が可能な容量)
- 高速遮断機能付:
  - ・差動部分放電検出信号をトリガーとする。
  - ・前駆遮断試験時の最高電圧は250kV程度まで可能。
  - ・それ以上の電圧では装置保護のため通常の絶縁破壊試験に移行する。

図1 CVケーブル絶縁破壊前駆遮断試験設備

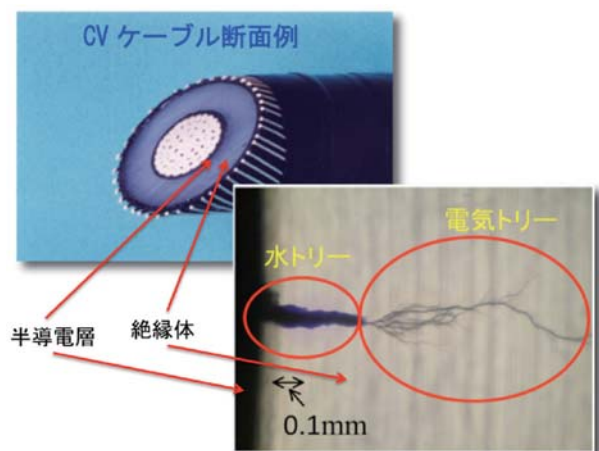


図2 微小欠陥(水トリー)から部分絶縁破壊(電気トリー)が開始したところ

見えないものを

“みる”

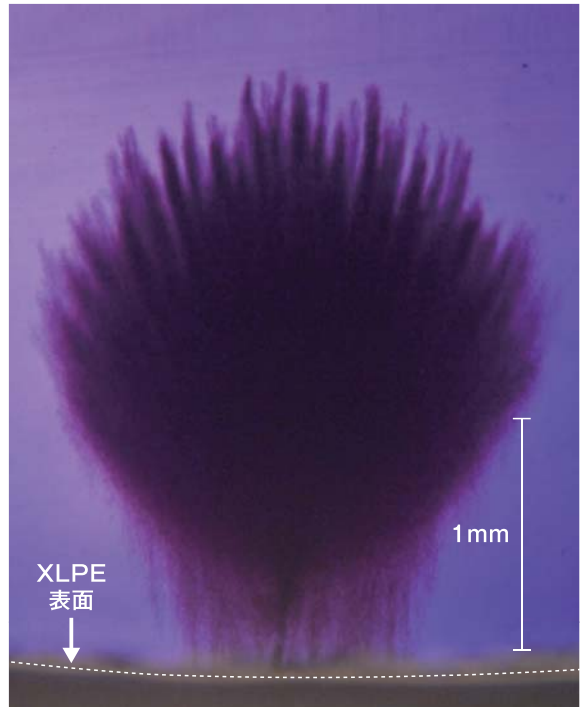
# これは何!?

“マリモ”か“クラゲ”の変種か何かに見えますが、これは架橋ポリエチレン絶縁ケーブル(CVケーブル)のポリエチレン絶縁体の中に、水の粒でできた高さが約2mmの樹枝状の劣化痕で、形が樹枝状なので「水トリー(Water Tree)」と呼ばれています。

発送電から変電・配電分野にわたる電力設備は、1960年代から70年代の経済成長期に急増した電力需要を賄うために建設されたものが多く、経年に拠る老朽化が進んでいます。高い電力品質を今後も維持するためには、設備の劣化状態を診断し、適切な補修・更新時期を判定する劣化診断技術の精度を向上させることが大切です。劣化診断技術の開発対象とする重要な設備の一つが、電気特性や耐熱性に優れた架橋ポリエチレン絶縁ケーブル(CVケーブル)です。

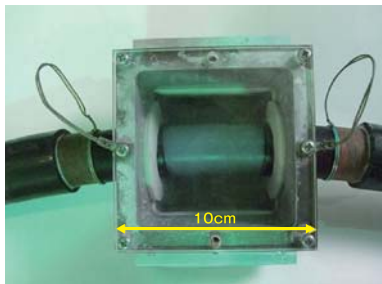
電圧階級が20～60kV級以下のCVケーブルの主要な絶縁劣化要因は、「水トリー」と呼ばれる、電界と水が共存する環境で生じる固体絶縁物の劣化現象であることが判っています。CVケーブルは水分に接触する環境下に布設されるため、ケーブルの中心部にある導線を取り囲んでいる絶縁体の中に何らかの欠陥(気泡や不純物など)があると、水分が欠陥部分やその周囲に浸透して徐々に水トリーとなって成長していきます。水トリーは1～2mmまで成長すると、絶縁体の電気抵抗を下げ、電流を流してしまいます。このため、水トリーがある状況でケーブルに電圧が掛ると、絶縁破壊が起きてCVケーブルが焼けるなどの事象が生じてしまうことがあります。

当所では、CVケーブルの使用期間と水トリーの成長度合いとの相関性、また、水トリーの成長度合いとCVケーブルの余寿命の相関性を定量的に把握することを最終的な目標として、診断技術の開発に取り組んでいます。



22kV CVケーブルの人工針欠陥先端からの水トリー観察例

「水トリー」は試料が乾燥して水分が無くなると見えなくなるので、上図のように、クリスタルバイオレットと呼ばれる染色剤でポリエチレンを染色して、目に見えるようにしてあります。現在、各種の水トリーを人工的に発生させ、その大きさや形がどの様に絶縁性能を低下させているかを研究しています。この水トリーを発生させるためには、水トリーを発生させる部分に水を供給する装置や大きな課電設備が必要です。

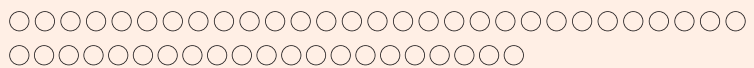


水トリーを発生させるためにケーブルに水分を供給する装置



水トリーを発生させるためにケーブル試料に課電している様子

次号予告「水力施設と流域環境の調和を目指す(仮題)」



DEN-CHU-KEN  
**TOPICS**

発行：一般財団法人 電力中央研究所 広報グループ

---

〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1（大手町ビル7階）

TEL：03-3201-6601 FAX：03-3287-2863

<http://criepi.denken.or.jp/>

\*表紙のグラフは中面に記載されたデータです。