

単3乾電池駆動X線装置による 電線用小型X線検査装置

つくばテクノロジー株式会社／齊藤典生、王 晓東、松岡一夫、王 波

つくばテクノロジーは、超音波からX線に渡る非破壊検査装置を開発、製品化しており、中でもX線検査装置はコンクリート、配管、そして電線など幅広い対象物に対して最適な装置を開発、製品化している。

本稿では、単3乾電池で駆動する約80keV出力の小型X線装置とCMOSイメージセンサ検出器とを組み合わせ、電線の老朽化問題としての電線腐食をリアルタイムで検査できる小型X線検査装置について解説し、さらに自走式電線検査装置への展開を紹介する。

1 電線工事の現状

電力会社の亘長8万kmにもおよぶ送電線は敷設後約30年が経過し、送電線の導体として硬銅撲線を使用した絶縁電線において、応力腐食断線を原因とした停電事故を起こす危険があるため、順次、全線を新線に張り替えている。

しかし、この全線を新線に張り替える工事は、まだ十分使用できる健全な電線まで廃棄されることになり、工事および材料のコストに無駄が発生し、不経済なため、大きな問題となっている。

そこで、産業技術総合研究所の技術移転ベンチャーとしてこの問題を解決するため弊社が開発した、X線漏洩がなく「安全」で、小型軽量で移動がしやすく、その場その場で「容易」に電線を検査できるという特長をもつ小型X線検査装置を紹介する。

2 電線検査の課題

既存の電線検査としては、磁界センサを使って

検査したり、腐食電線と思われる芯線と絶縁被覆間に浸透した雨水を注射針で抜き取り成分検査判定等をしている。しかし、これらは非常に手間がかかり、精度が悪いため腐食の見落としや誤認が避けられない。

また一方、高圧送電線の検査方法としては、腐食した部分の電線径が太くなることから、電線にリングを取り付け、検査員が電線に宙吊りになり、電線を目視で検査する。ただし、この方法は高所作業で危険が伴い、かつ停電させなければならず、安全で効率的に検査するのが難しいという問題がある。

3 X線検査装置の電線への応用

X線装置は病院などの医療用途、工場などの工業用途として幅広く利用されている。そしてここにきて、市民の安心、安全の確保のため、インフラの老朽化度合を検査する必要性が高まり、弊社でもコンクリートや配管、電線の検査用にX線検査装置を開発、製品化している。

ここで、特に電線のX線検査装置への要求を以下に列挙してみる。

- 1) 小型、軽量で可搬なもの。
- 2) 設置作業が容易なもの。
- 3) 管理区域なしで安全に使用できるもの。
- 4) 検査や設置ができるだけ廉価なもの。
- 5) 検査結果の信頼性が高いもの。
- 6) 装置の寿命が長いもの。

以上の要求を満たす小型X線検査装置について解説する。

4 電線用小型X線検査装置

この装置は、単3乾電池で駆動可能な画期的小型X線装置と高精細CMOSイメージセンサ検出器の計測部とをそれぞれ一体化した筐体に収めている。したがって、持ち運びが容易で、機動性があり、その場その場に出向いて電線のX線検査が容易に、効率よくできる。

4.1 単3乾電池駆動小型X線装置

小型X線装置は、カーボンナノ構造体冷陰極電子源1)を採用した小型X線管(写真1)を使い、カーボンナノ構造体の電界電子放出現象を利用するため、ヒーターやフィラメントがなく、予熱やエージングが不要で、単3乾電池で必要な時にす



写真1 単3乾電池駆動小型X線装置用
カーボンナノ構造体冷陰極X線管

ぐ約80keVのエネルギーのX線を発生できる。しかも、X線の発生時にしかエネルギーを消費しないため省電力で、さらにヒーター・フィラメントのものより、長寿命という特長をもっている。したがって、X線検査装置など寿命が問題となる装置には最適な性能をもっている。

実際、X線装置としての標準仕様は(表1)、小型ながら単3乾電池6個で1,000回のパルス照射ができるという特出した性能をもつ。また、このX線装置の焦点サイズは約1×1mmとなっており、焦点サイズが約3mmの熱フィラメント型X線管のX線装置より小さいため、対象物となる電線との間隔を短くして撮像しても高精細な画像が得られる。

4.2 装置の概要

電線用小型X線検査装置は(写真2)、実際に現場での電線を検査することを想定したモデルである。問題になる安全性の面や、X線作業主任者などの特別な資格が必要ない検査作業を可能にするため、X線装置本体を鉛で遮蔽することで、X線遮蔽率0.6μSv/h以下を実現している。これにより、安全に誰でもどこでも検査できるとともに、小型の装置として、ハンドリングのいい、移動し易いものとした。

電線計測部の標準仕様(表2)として、検出面サイズは50×50mmであるが、これは電線の検査に

表1 X線装置の標準仕様

項目	仕様値	備考
管電圧	約80keV	パルス出力 20ms
管電流	ピーク値30mA	
X線管	カーボンナノ構造体	
X線サイズ	1mm×1mm	
検査作業	X線作業主任者 資格不要	X線遮蔽率 0.6μSv/h以下
筐体材質	アルミ	鉛遮蔽入り
電源	単3乾電池 6個	約1,000回照射可能
寸法	W195×L295×H225mm	
動作温度	0°C~50°C	



写真2 電線用小型X線検査装置



写真3 電線検査風景

関しては実用範囲といえるもので、今後さらなる大型化も視野に入れている。検出器にはCMOSイメージセンサを使い、解像度 $1,024 \times 1,024$ 、ピクセルサイズ $48 \times 48 \mu\text{m}$ で、電線を高精細に撮像するには十分な性能である。

あらためて、現在行われているX線検査を考えると、X線装置も比較的大型で、前述したようにエージングなどの準備が必要で、現場での手間がかかっている。また、一般的なフィルム検査の場合は、撮影してから現像行程となり、1枚1枚の写真を見るまで時間を要している。

これらに対して、弊社の小型X線検査装置は、X線管にカーボンナノ構造体冷陰極電子源を使っ

表2 電線計測部の標準仕様

項目	仕様値
検出ケーブル直径	15mm～30mm
検出器	CMOSイメージセンサ
有効面積	50mm × 50mm
解像度	1024 × 1024
ピクセルサイズ	48 × 48 μm
重量	約1kg

ているため、予熱がなく、単3乾電池で、使いたい時にすぐ出力でき、小型ながら約80keVというX線を長寿命で発生できる。

また、電線計測部は、X線を非常に高精細に、短時間で、2次元の検出画像として取得でき、画面上でリアルタイムに電線の腐食具合をつぶさに検査可能という特長を有する。

実際に電線を検査する場合は、この小型X線検査装置のX線装置と電線計測部との間に電線を置いて蓋を閉め、電線を挟んだ状態で固定して検査する(写真3)。そして、X線検査装置から少し離れた場所でリモートスイッチを操作してX線を照射し、電線を透過してきたX線の透過画像を

電線計測部で検出し、信号処理ユニットを介して、同じ離れた場所のPCにLANケーブルでつなぎ、PC画面上でリアルタイムにモニターして検査を行う。

4.3 画像処理を応用した電線劣化検出

実際に太さ50mmの腐食した電線で、X線出力約80keV、照射回数1パルス、X線装置と電線計測部の距離約20cmの条件で撮像してみると、電線の腐食部分の直径が確かに太く撮像された(図1)。

また、このX線透過画像から電線のエッジを検出するという電線のエッジ検出アルゴリズムを適

用すると、図1の右半分のように電線の直径を算出してグラフ表示することができる。このグラフ表示により、電線の腐食部分の直径が太いことがはっきりわかる。

ここで特出すべきは、電線が湾曲していても高精度に直径を算出できることである。その方法は、まず電線の撮像画像から、電線の輪郭2値画像を作成する(図2)。この2値画像に対して細線化処理を行い、図2に示したように電線の芯線を求める。

この求めた芯線を基準に、芯線とエッジ線の垂直線の高さを求ることで、電線の直径が正確に算出できる(図3)。こうすれば、電線が湾曲して



図1 腐食電線の撮像結果

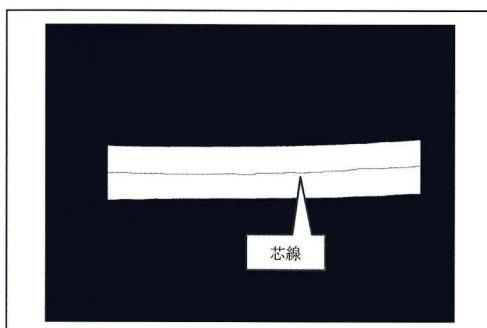


図2 電線の芯線

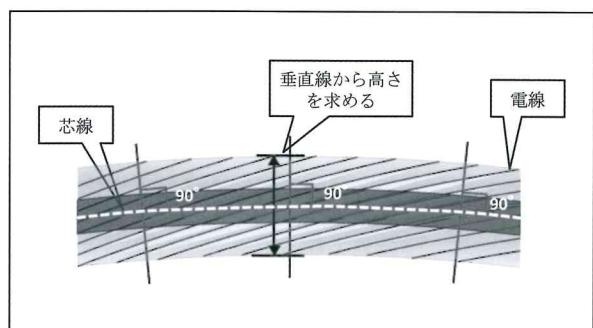


図3 湾曲した電線画像から正確に直径を算出

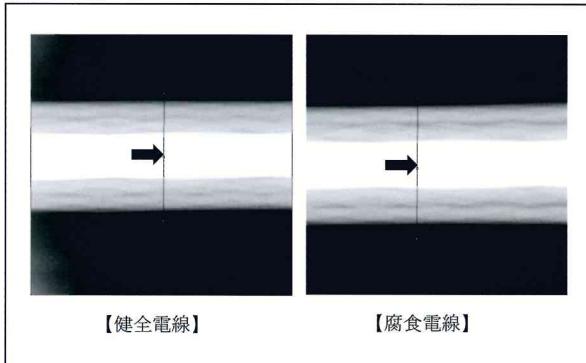


図4 健全電線と腐食電線

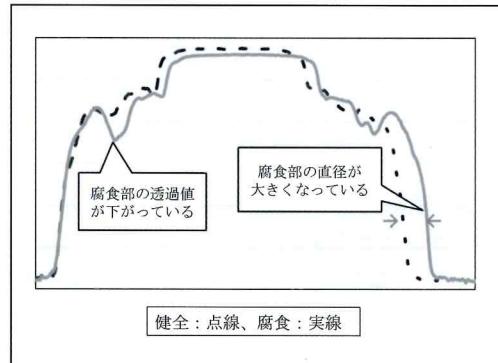


図5 電線の画像輝度プロファイル

いても正確な直径を高精度に算出可能である。

以上のように、この装置を使えば、腐食により電線の直径が太くなっていることを高精度にしかも容易に検査できる。

4.4 画像輝度プロファイル分析による腐食検出

次に、健全な電線と腐食した電線の検査画像(図4)から電線の画像輝度プロファイルを作成し、健全な点線のプロファイルと腐食した実線のプロファイルを重ねて比較すると(図5)、実線のプロファイルの腐食部では透過値が下がっていること、また腐食部の直径が大きくなっていることから、健全な電線より腐食した電線の方が腐食により直径が太くなっていることが実際に判別できる。これは、本装置の電線検査への有用性を実証するものである。

今後は、さらに撮像画像の拡大縮小、ヒストグラム、明るさ、コントラストの調整など、各種の画像処理機能を拡充し、より使い易い装置にしていく予定である。

さらに、この装置の検出器はデジタル検出器であるため、即座に撮像結果が画像化され、容易に何度も撮り直して電線を検査できる。これにより、部位の特定、腐食度合いの定量化などに効果を發揮する利点も備えている。

5 自走式電線用X線検査装置への展開

弊社の電線用X線検査装置は、各電力会社などから引き合いがあり、導入が進められている。これが全国で利用されれば、電線の腐食検査が加速され、老朽化対策が一気に進むものと期待される。

また、このX線検査装置は、オフラインでの検査が主であるが、X線装置と電線計測部とをケースに収め、それを電線に巻き付け、ロボットメカを搭載し、電線を自走しつつ撮像検査できる装置を開発中である(図6)。

この自走式電線用X線検査装置に関しては、すでに特許を取得しており(特許登録番号:5201515)、



図6 自走式電線用X線検査装置

できる限り早期実用に供するべく、鋭意開発製品化を進めている。

これが製品化できれば、電線の送電をストップさせることなく、長い距離を効率よくその場検査でき、非常に有用な装置となる。それにより、必要な場所に選択的に対策を講じることができ、工事経費を抑えながら、電線の保全が可能となり、電線検査の大きな問題が解決できる。

6 おわりに

電線の腐食検査を行う小型X線検査装置について解説した。この装置は電線の保全および効率的な工事の実施に対して、有効な検査手段である。この装置ならその場その場で特別な資格がなくても撮像した画像や検査結果のデータを見れば、電線の腐食具合を速やかに把握でき、迅速な対策が可能になる。

特に被災地や災害地などの緊急を要する場所で、より危険を回避するための検査手段として非常に有望である。

これによって、日本全国、機動性よく、腐食電線のその場検査を迅速に実施することで、ライフラインおよび人々の安心、安全の確保への貢献が期待される。

謝辞 :

本開発にあたり、産業技術総合研究所 鈴木良一首席研究員に多大なるご協力をいただき、ここに深く感謝申し上げます。

また、本開発は、平成24年度 いばらき産業大県創造基金助成金の研究開発費により行われたことを記して謝意を表します。

■参考文献

1) 鈴木: “乾電池駆動可搬型高エネルギーX線装置の開発” . *Synthesiology* 2(3): 237-243, 2009

☆つくばテクノロジー株式会社

TEL.029-852-7777 FAX.029-886-5528

<http://www.tsukubatech.co.jp/>